

2121 ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(НИУ «БелГУ»)**

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

Кафедра информационно-телекоммуникационных систем и технологий

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА
В ПГТ. ШУШЕНСКОЕ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ**

Выпускная квалификационная работа студента

**очной формы обучения
направления подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи
4 курса 07001209 группы
Ерёменко Максима Сияновича**

Научный руководитель
канд. техн. наук, доцент кафедры
Информационно-телекоммуникационных
систем и технологий
НИУ «БелГУ» А.Н. Заливин

Рецензент
Эксперт функциональной группы
эксплуатации транспортных сетей отдела
эксплуатации сети
ПАО «МТС» А.Л. Тимошенко

БЕЛГОРОД 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ ШИРОКОПОЛОСНОГО БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА В ПГТ ШУШЕНСКОЕ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ	6
1.1 Описание объекта проектирования	6
1.2 Анализ инфокоммуникационной инфраструктуры посёлка	8
2 АНАЛИЗ СПОСОБОВ И ОСОБЕННОСТЕЙ РЕАЛИЗАЦИИ СЕТЕЙ LTE	11
2.1 Описание технологии LTE	11
2.2 Описание оборудования LTE	16
2.3 Разработка концепции реализации сети LTE в пгт. Шушенское	19
3 РАЗРАБОТКА ИНФРАСТРУКТУРЫ СЕТИ LTE В ПГТ ШУШЕНСКОЕ	21
3.1 Выбор оборудования	21
3.2 Описание сетевого оборудования	22
3.2.1 Распределенная базовая станция DBS3900	23
3.2.2 Антенно-фидерное оборудование	27
3.2.3 Выбор оборудования транспортного сегмент	28
3.3 Расчет зон радиопокрытия и выбор мест размещения базовых станций	30
3.3.1 Оценка параметров зоны обслуживания сети LTE в пгт. Шушенское	31
3.3.2 Расчет зоны радиопокрытия по модели COST231 - Хата	39
3.4 Оценка ёмкости сети	41
3.5 Частотное планирование	47
3.6 Проектирование линейно-кабельной инфраструктуры	49
3.7 Разработка схемы организации связи	52
4 РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО РЕАЛИЗАЦИИ СЕТИ БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА В ПГТ ШУШЕНСКОЕ	54

						11070006.11.03.02.103ПЗВКР		
Изм	Копуч	Лист	№ док	Подпись	Дата			
Разраб.	Еременко М.С.					Проектирование беспроводной сети абонентского доступа в пгт. Шушенское Красноярского края	Лит	Лист
Проверил	Заливин А.Н.							Листов
Рецензент	Тимошенко А.Л.						2	70
Н. контр.	Заливин А.Н.						НИУ «БелГУ» гр. 07001209	
Утвердил	Жуляков Е.Г.							

4.1 Рекомендации по организации строительства	54
4.2 Мероприятия по охране природной среды	56
4.3 Мероприятия по охране труда и технике безопасности	58
4.4 Обеспечение электропитания	60
5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА	61
5.1 Оценка капитальных вложений в проект	61
5.2 Калькуляция эксплуатационных расходов	65
5.3 Калькуляция доходов	68
5.4 Определение оценочных показателей проекта	69
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	75
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	78

ВВЕДЕНИЕ

Одним из мегатрендов развития инфокоммуникационных систем является требование мобильности, поэтому цифровые широкополосные беспроводные сети широко внедряются в Российской Федерации. Современные технологии беспроводного абонентского доступа позволяют обеспечить абонентов контентом различного типа: голосовыми сервисами, передачей данных, доступом в сеть Internet, телевизионным вещанием, в том числе, и интерактивным ТВ.

Во многих районах Сибири развиваются мультисервисные сети, обеспечивая требуемую инфраструктуру для реализации широкополосных беспроводных сетей доступа. Особенно востребованы такие решения для небольших посёлков, находящихся в удалении от крупных городов. Как правило, существующие телекоммуникационные сети морально и физически устарели, многие сегменты требуют реконструкции.

Шушенское – это посёлок городского типа в Красноярском крае, административный центр Шушенского района. В посёлке имеются учебные заведения, медицинские учреждения, птицефабрика, наблюдается рост новостроек. Существующая цифровая АТС обеспечивает население посёлка услугами телефонии, доступ в сеть Интернет организован не во всех районах, есть спрос на мультисервисные услуги. Кроме того, посёлок входит в зону действия Операторов связи, которым стратегически выгодно развивать сети нового поколения. Поэтому тема выпускной квалификационной работы является актуальной [1].

На сегодняшний день, на рынке телекоммуникационных услуг конкурируют несколько широкополосных беспроводных технологий, в том числе WiMAX, LTE. Выбор проектного решения, разработка рекомендаций по реализации сети связи – основная задача данной выпускной квалификационной работы.

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

Целью проекта является предоставление жителям пгт. Шушенское современных услуг связи на базе беспроводных решений, а также расширение зоны присутствия Оператора связи в Красноярском крае. Задачами проекта является анализ вариантов реализации беспроводных технологий в посёлке, разработка рекомендаций по проектированию и эксплуатации сети, расчёт основных технических показателей, объёма оборудования, нагрузок, зон радиопокрытия. Кроме того, необходимо провести оценку инвестиций в проект и проверить его рентабельность.

Внедрение современных инфокоммуникационных технологий позволит интенсивно развивать инфраструктуру посёлка, сделать его привлекательным для инвестиций, заинтересовать молодежь. Современная инфокоммуникационная инфраструктура позволит обеспечить развитие социально-ориентированной экономики пгт. Шушенское, рост производства и сферы услуг для улучшения условий жизни широких масс населения, а также решение иных социально-экономических задач, связанных с развитием посёлка.

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ ШИРОКОПОЛОСНОГО БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА В ПГТ ШУШЕНСКОЕ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

1.1 Описание объекта проектирования

Городское поселение поселок Шушенское основан в 1744 году. Площадь территории района составляет 112,9км², численность постоянного населения в Шушенском – 16500 человек [2]. Район имеет автомобильное, речное и воздушное сообщения с рядом городов и регионов страны. Ближайшие железнодорожные станции расположены в городах Абакан (80 км) и Минусинск (55 км). С 1995 года организован национальный парк «Шушенский бор», состоящий из Перовского лесничества (расположено в окрестностях посёлка) и Горного лесничества (район хребта Борус, Западный Саян, рядом с Саяно-Шушенской ГЭС). На территории заповедника находится стоянка первобытного человека.

Муниципальное образование Шушенское является районным центром Шушенского района. Численность населения на начало 2016 года составляет 16500 человек.

Анализ инфраструктуры показал, что:

1) Сфера здравоохранения на территории поселка представлена: центральной районной больницей.

2) Образование представлено тремя общеобразовательными средними школами и одной начальной школой, школой – интернатом для детей сирот, двумя профессиональными училищами, сельскохозяйственным колледжем, 5 учреждениями дополнительного образования, 5 детскими дошкольными учреждениями.

3) Сеть учреждений культуры представляет центральная библиотека с 4 филиалами, городской дом культуры, детская музыкальная и художественная

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

школы, музей.

4) Промышленность поселка представляют ООО «Шушенская марка», ООО «Шушенский хлебозавод», МУП «Водоканал», МУП Шушенские «Тепловые и электрические сети».

5) Сельскохозяйственные предприятия ОАО «Шушенская птицефабрика» - производит мясо птицы и яйцо, ООО «Иджюль» - занимается выращиванием картофеля, есть крестьянско-фермерские хозяйства, занимающиеся растениеводством.

6) Телекоммуникации и связь: поселок находится в зоне присутствия нескольких Операторов связи, основной – ОАО Сибирьтелеком-Электросвязь Красноярского Края, региональный филиал, Шушенский филиал.

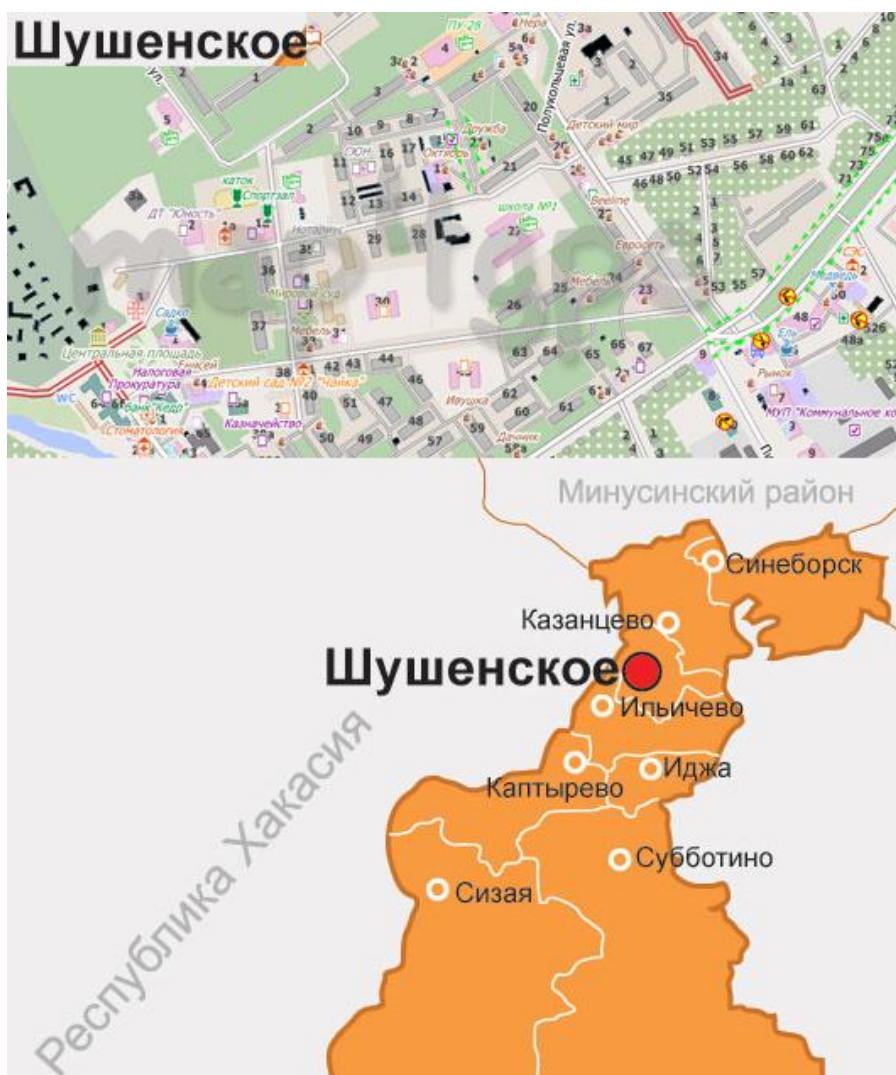


Рисунок 1.1 – пгт. Шушенское

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В сферу деятельности Администрации района входит создание предпосылок для успешного достижения стратегической цели - повышения качества и продолжительности жизни населения. Достижение цели предусматривается решением некоторых задач, важной из которых является обеспечение граждан комплексными коммуникационными услугами на основе изучения и учета их потребности; создание системы мер, обеспечивающих взаимную ответственность служб и жителей по поддержанию комфортных условий жизни.

Как видно из описания, основная доля экономики поселка приходится на сельское хозяйство, инвестиционно привлекательным является туристический бизнес, здесь расположены Государственный Саяно- Шушенский природный биосферный заповедник и Национальный парк «Шушенский бор». Как показывает статистика, представленная Администрацией посёлка [3], в туристический сезон с апреля по ноябрь, посёлок посещают, в среднем, 200 туристов в день. Развитие туристического бизнеса является одной из приоритетных задач в регионе. Несомненно, одной из важных составляющих внедрения этой концепции становится обеспечение населения посёлка и туристической отрасли современными, качественными услугами связи в беспроводном (мобильном) формате.

1.2 Анализ инфокоммуникационной инфраструктуры посёлка

Развитие услуг связи обусловлено их востребованностью, чему способствует внедрение новых видов услуг Операторами связи. Возрастает число платных услуг населению, предоставленных по сети внутренней ускоренной почты (услуги телеграфа, факса, электронной почты), связь представляют организации: Южный центр технической эксплуатации Красноярского филиала ОАО «Сибирьтелеком», Шушенский почтамт УФПС

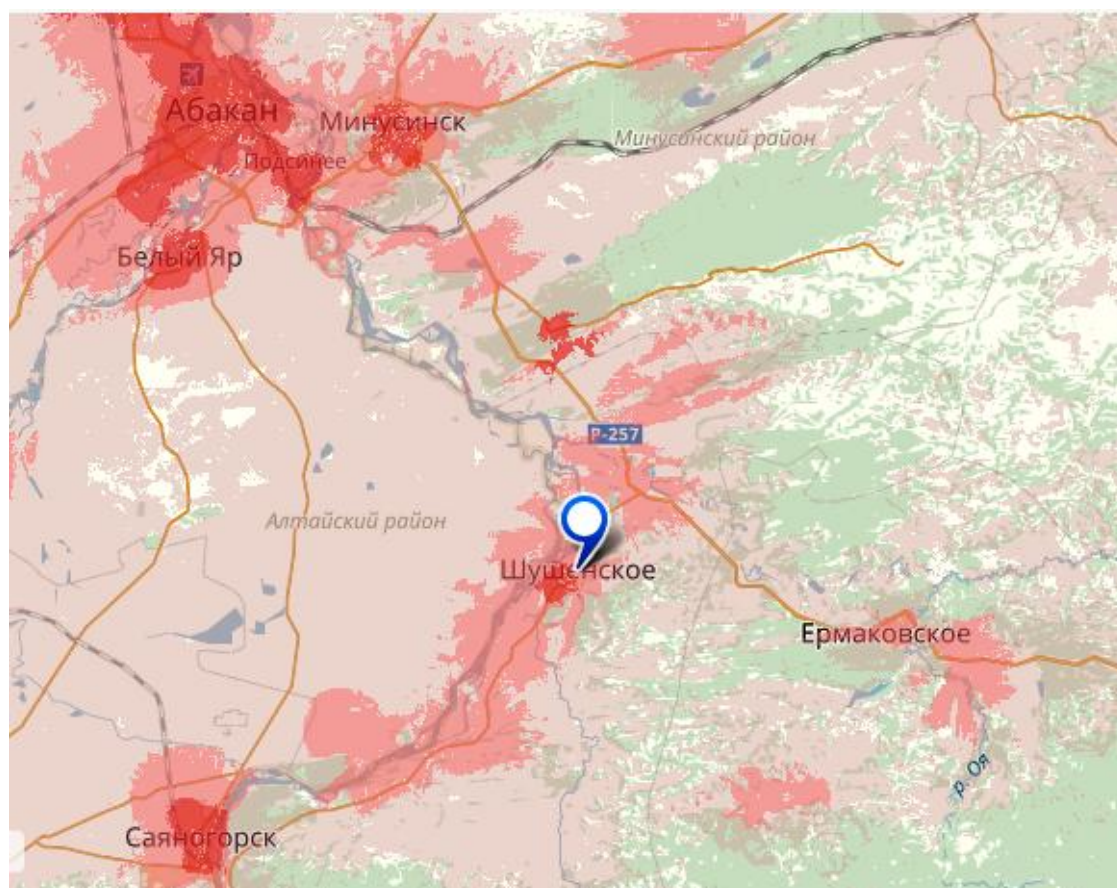
					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

Красноярского края – филиал ФГУП «Почта России». В пгт. Шушенское есть телефонная сеть, доступ в Интернет организован по технологии ADSL, процент проникновения – 18%. Жители пользуются эфирным и спутниковым телевидением.

По статистике [2] в Шушенском районе количество телефонных аппаратов составляет 9,97 тысяч, в том числе квартирных 8,9 тысяч. Обеспеченность населения квартирными телефонами составляет 64 аппарата на 100 семей. Количество квартирных телефонных аппаратов в районе сокращается за счет снижения спроса и развития сотовой связи.

В районе действуют 4 Оператора сотовой связи – «Енисейтелеком», «Билайн», «МТС», «Мегафон».

Основная доля абонентской ёмкости приходится на Оператора ПАО «МТС», ведущего телекоммуникационного оператора в России.



1.2 – Фрагмент зоны радиопокрытия ПАО «МТС» в Шушенском районе [5]

20 декабря 2013 года компания «МТС» объявила о запуске сети LTE 2.5-2.7 ГГц в Красноярске. Пиковые скорости скачивания ограничены на уровне 75 Мбит/с используемой полосой частот 2x10 МГц. [4]

Покрывание LTE также реализуется на территории городов Ачинск, Железногорск, Зеленогорск, Канск.

В 2015 году компания «МТС» обеспечила сетью LTE 75% жителей Красноярского края. МТС расширила зону покрытия LTE в крае на четверть, увеличив почти на 50% количество базовых станций LTE. В зоне покрытия сегодня около 2 миллионов человек в 27 населенных пунктах, в том числе в Минино, Подгорном, Бугачево, Зыково, Есаулово и т.п. Кроме того, компания расширила присутствие в Республике Хакасия (г. Абакан).

Компания «МТС» и правительство Красноярского края подписали соглашение, в рамках которого в 2014-2016 годах МТС инвестирует в развитие телекоммуникационной инфраструктуры региона порядка трёх миллиардов рублей. В 2014 году МТС уже инвестировала 1,2 миллиарда рублей. МТС обеспечила LTE в небольших населенных пунктах Красноярского края и Хакасии. МТС сообщает, что первой из конкурентов обеспечила сетью LTE жителей городов Заозерный, Бородино, посёлков Минино, Подгорный, Пугачёво, Элита, а также сёл Зыково и Бугачёво. В результате выполненных работ в первом квартале 2015 года сеть LTE МТС появилась также в Назарово, улучшилось качество сети 4G в Ачинске, Железногорске, Минусинске, Зеленогорске и Сосновоборске, Абакане. Улучшалось качество сети LTE в Красноярске, где были установлены дополнительные BS LTE.

Следовательно, перспективы реализации сети LTE в райцентре Шушенское являются важным этапом дальнейшего расширения присутствия компании «МТС» в Красноярском крае, поэтому выпускная квалификационная работа посвящена проектированию сети широкополосного доступа на базе данной технологии.

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2 АНАЛИЗ СПОСОБОВ И ОСОБЕННОСТЕЙ РЕАЛИЗАЦИИ СЕТЕЙ LTE

2.1 Описание технологии LTE

Технология LTE является стандартом беспроводных систем четвертого поколения, в переводе с английского Long-Term Evolution обозначает «долговременное развитие», в документах и литературе обозначается 4G LTE. Является стандартом беспроводной высокоскоростной передачи данных для мобильных телефонов и других терминалов, работающих с данными.

В данный момент эксплуатируются сети стандарта LTE 8, 9, 10 версий (релизов), которые отличаются способом организации и параметрами.

Long Term Evolution (LTE) является продолжением эволюции систем 3GPP для использования в существующих системах сотовой связи. Целью разработки данной системы является сохранение системы 3GPP. LTE разработан, чтобы иметь более широкие каналы до 20 МГц, с низкой задержкой и возможностью оптимизации к пакетным технологиям. Пиковой скоростью данных предусмотренных для LTE, является 100 Мбит в нисходящем канале и 50 Мбит в восходящей линии связи. При использовании OFDM, LTE позволяет реализовать очень перспективные функции, такие как масштабируемость полосы пропускания, а также разделение FDD и методы TDD для организации дуплексной связи. Этот тезис связан с размерами LTE - Сети радиодоступа и разработкой инструмента для определения назначения объектов сети.

LTE представляет собой систему широкими полосами пропускания (до 20 МГц), низкой задержкой и оптимизирована для пакетной передачи, как радиотехнологии доступа, имеющая высокие пиковые скорости передачи данных 100 Мбит в нисходящем канале и 50 Мбит в восходящей линии связи.

Технология радиодоступа для LTE использует OFDM (мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов),

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

которая обеспечивает более высокую спектральную эффективность и большую устойчивость против многолучевого распространения, по сравнению с CDMA (множественным доступом с кодовым разделением каналов). Для того, чтобы предложить Операторам возможность увеличить гибкость при развертывании сети, система LTE поддерживает масштабируемость пропускной способности и одновременно использует методы FDD и TDD. Кроме того, система поддерживает передачу как одноадресного, так и многоадресного трафика. Ячейки сети могут охватывать как целые районы, так и иметь зону покрытия в сотни метров, и даже свыше 10 км в радиусе.

Главные цели и задачи развития LTE можно сформулировать следующим образом:

- Увеличение пропускной способности системы и снижение затрат на бит, а также использование существующих 2G и 3G-систем наряду с новым стандартом.

- Достижение заметно более высоких скоростей передачи данных, по сравнению с существующими системами 3G, с целью достижения пропускной способности 100Mbps в восходящем канале и более 50 Мбит в нисходящей линии связи.

- Расширение зоны обслуживания, обеспечивая более высокие скорости передачи данных в более широких областях, и гибкость использования существующих и новых частотных диапазонов.

- Обеспечение более высокой пропускной способности системы до трех раз по сравнению с емкостью существующих систем, увеличение количества предоставляемых услуг - больше услуг по более низкой цене.

Требования к сетям LTE

Системы LTE, чтобы быть конкурентоспособными в течение многих последующих лет, должны удовлетворять жестким требованиям и целевым показателям. Основными задачами развития для дальнейшего улучшения качества предоставления услуг и снижения затрат пользователя / оператора

являются:

- Низкое время задержки: как для пользовательской плоскости, так и для плоскости управления, с распределением спектра 5 МГц - задержка ниже 5 мс;
- Ширина полосы;
- Масштабируемость: различные значения ширины полосы могут быть использованы в зависимости от требований (От 1,25 до 20 МГц)
- Пиковая скорость передачи данных: 100 Мбит для DL, 50 Мбит для UL;
- В 2 - 3 раза большая емкость, по сравнению с существующими системами беспроводного доступа;
- Использование методов коммутации пакетов для поддержки домена;
- Улучшение производительности соты;
- Межсетевое взаимодействие с существующими системами 2G и 3G и не-3GPP системами;
- Оптимизированная для малоскоростных мобильных устройств, но и поддержка высокоскоростных мобильных устройств;
- Снижение сложности как в системе, так и в терминалах;
- Простота перехода от существующих сетей;
- Упрощение и сведение к минимуму числа интерфейсов.

Основным требованием для LTE является возможность плавного перехода от существующей телекоммуникационной системы к сети нового поколения. Это может быть возможным за счет повторного использования существующих частотных спектров, взаимодействия между существующей и новой системой, повторное использование существующих объектов и производства оборудования по конкурентоспособным ценам. Это дает операторам возможность с легкостью мигрировать к новым системам. Но это требует принятия упрощенной архитектуры системы, строгих ограничений на спектр и использованию новой технологии радиодоступа с лучшими характеристиками.

Гибкость полосы пропускания канала обеспечивается за счет возможности выбора из шести различных вариантов полосы пропускания для

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Операторов на выбор. Допустимые значения ширины полосы канала включают 1,25, 2,5, 5, 10, 15 и 20 МГц. Разнос поднесущих фиксируется для всех возможных полос пропускания на частоте 15 кГц.

В соответствии с шириной поднесущей 15 кГц, время передачи символа равно $1/T_b = 66,68$ микросекунд. Используется защитный интервал между двумя последовательными символами для устранения межсимвольной интерференции. Копия фиксированного количества последних выборок прилагается к началу символа.

OFDM переводится с английского, как Orthogonal frequency-division multiplexing – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов. OFDM – это цифровая схема модуляции, использующая большое количество близко расположенных ортогональных поднесущих. Каждая поднесущая модулируется по обычной схеме модуляции (например, квадратурная амплитудная модуляция) на низкой символьной скорости, сохраняя общую скорость передачи данных, как и у обычных схем модуляции одной несущей в той же полосе пропускания. На практике сигналы OFDM получаются путем использования быстрого преобразования Фурье. Этот способ формирования канальных сигналов позволяет бороться с затуханием в проводных каналах, узкополосными помехами, многолучевостью. Сигнал OFDM представляет собой сумму нескольких ортогональных поднесущих, на каждой из которых передаваемые на основной частоте данные независимо модулируются с помощью одного из типов модуляции (BPSK, QPSK, 8-PSK, QAM и др.). После чего этим суммарным сигналом модулируется радиочастота. Перед обратным быстрым преобразованием Фурье этот поток преобразуется сначала в N параллельных потоков, после чего каждый из них отображается в поток символов с помощью процедуры фазовой (BPSK, QPSK, 8-PSK) или амплитудно-фазовой квадратурной модуляции (QAM). Обратное быстрое преобразование Фурье считается для N одновременно поступающих символов, создавая такое же множество комплексных отсчетов во временной области

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

(time-domain samples). Далее цифро-аналоговые преобразователи преобразуют в аналоговый вид отдельно действительную и мнимую компоненты, после чего они модулируют, соответственно, радиочастотную косинусоиду и синусоиду. Эти сигналы далее суммируются и дают передаваемый сигнал. Приемник принимает сигнал, выделяет из него косинусную и синусную квадратурные составляющие с помощью умножения и фильтров нижних частот, которые отфильтровывают колебания в полосе вокруг $2f_c$. Получившиеся сигналы далее оцифровываются с помощью аналого-цифровых преобразователей, подвергаются прямому быстрому преобразованию Фурье. Получается сигнал в частотной области. Таким образом, получаются N параллельных потоков, каждый из которых преобразуется в двоичную последовательность с помощью заданного алгоритма фазовой модуляции (при использовании в передатчике BPSK, QPSK, 8-PSK) или амплитудно-фазовой квадратурной модуляции (при использовании в передатчике QAM). В идеале получается поток битов, равным потоку, который передал передатчик.

Структура OFDM сигнала показана на рисунке 2.1.

Рисунок 2.1 – Структура OFDM сигнала

LTE по сути является одним стандартом, действующим во всем мире. Конечно, частоты, используемые беспроводными услугами, будут различаться от одной местности к другой в силу правил в отношении использования спектра. Но работы по LTE стандартизации начались примерно в 2004 году, начаты исследования нового поколения методов, которые позволили бы сотовым телефонам предложить универсальное подключение.

В сетях LTE используется технология передачи данных с помощью N -антенн и приема информации M -антеннами – так называемая MIMO - Multiple Input Multiple Output. Реализуется такой метод следующим образом:

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

принимающие и передающие сигнал антенны разнесены между собой на такое расстояние, чтобы получить слабую степень корреляции между соседними антеннами.

Многие компании продвигают подходы для реализации глобальной стандартизации и вносят существенный вклад в методы для достижения этой цели. Технология LTE будет реализована, это позволит людям использовать тот же телефон, где сервис доступен, в любой точке планеты.

2.2 Описание оборудования LTE

Сеть LTE состоит из компонентов, представленных на рисунке 2.2. Сетевая архитектура включает узлы сети LTE, соответствующие спецификациям 3GPP R8 [5]. Узлы сети должны поддерживать установленные интерфейсы LTE.

Иерархически сеть разбита на несколько подуровней: базовая (пакетная) сеть, и сеть радиодоступа. В структуру системы входит оборудование сопряжения с другими типами сетей – шлюзы, серверы, антенно-фидерная инфраструктура.

Типовая структура LTE-сети показана на рисунке 2.2.

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

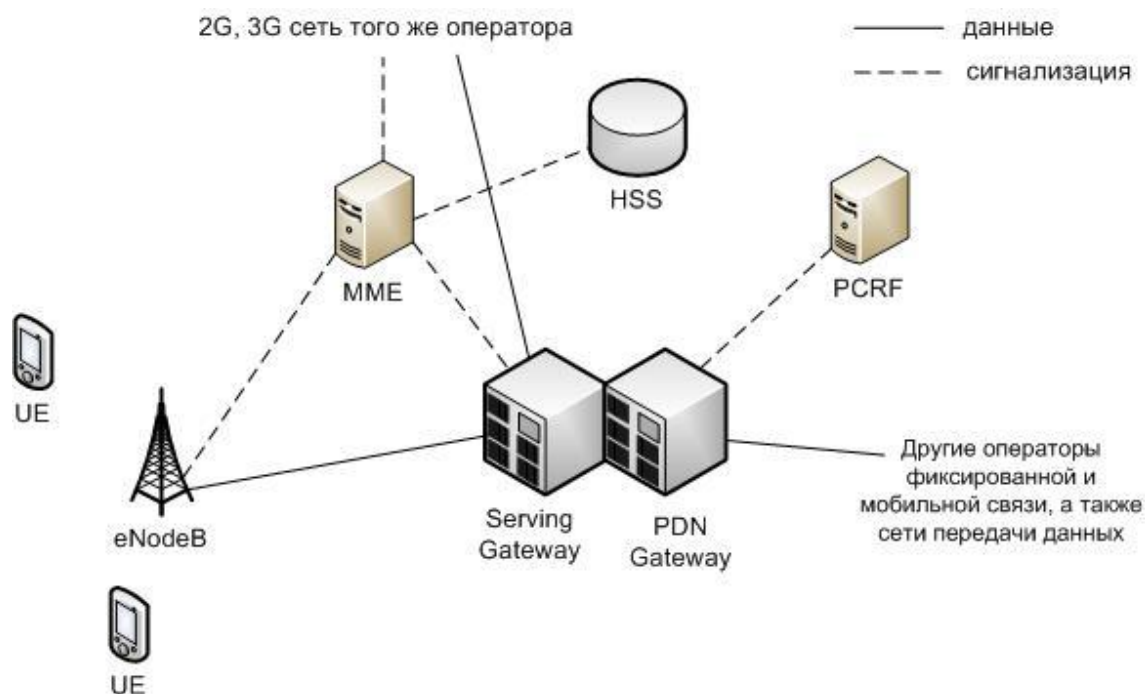


Рисунок 2.2 – Типовая структура сети стандарта LTE

В список оборудования LTE, который будет использован при реализации сети, входят:

- Serving SAE Gateway (Serving Gateway (SGW)) – обслуживающий шлюз сети LTE. Данный шлюз обрабатывает и маршрутизирует пакетные данные, которые поступают из/в подсистемы базовых станций. Обслуживающий шлюз организует прямое соединение с сетями второго и третьего поколений того же оператора, это упрощает передачу соединения в них, если происходит ухудшение зоны радиопокрытия, возникают перегрузки и т.д.;

- Public Data Network (PDN) SAE Gateway или PDN Gateway (PGW) – шлюз к/от сетей других операторов. Предназначен для взаимодействия с сетями связи общего пользования ССОП, сетями передачи данных СПД и другими;

- Mobility Management Entity (MME) – узел управления мобильностью. Данный узел осуществляет «эстафетную передачу», называемую «хэндовер» между базовыми станциями сети LTE, а также сетями 2G и 3G поколений данного оператора;

- Home Subscriber Server (HSS) – сервер абонентских данных. Сервер

представляет собой объединение VLR, HLR, AUC, выполненных в одном устройстве.

– Policy and Charging Rules Function (PCRF) – узел выставления счетов абонентам за оказанные услуги связи. Это система биллинга – учета расходования ресурсов.

Таблица 2.1 – Требуемое оборудование для организации сети LTE в одной зоне

Количество	Сетевой элемент
Оборудование пользователя (абонента)	
Ноутбук	
USB–модем 4G	
Мобильный телефон	
Сеть радиодоступа	
2	Базовая станция
2	Активная антенна
2	Фидер
Базовая (пакетная) сеть	
1	Узел управления мобильностью (MME)
1	Обслуживающий шлюз сети (SGW)
1	Сервер абонентских данных (HSS)

При выборе данного оборудования, сеть LTE будет обладать следующими возможностями:

– предоставлять требуемый набор новых услуг: высокоскоростную передачу данных и мультимедиа, широкий набор услуг, аналогичных сетям UMTS;

– создавать сеть радиодоступа в полосе частот, выделенной для LTE FDD в данном регионе;

– обеспечивать расширение базовой сети LTE в Красноярском крае;

– предоставлять возможность взаимодействия с сетями с пакетной коммутацией IP/PDN, а также сетями второго и третьего поколения 2G и 3G.

2.3 Разработка концепции реализации сети LTE в пгт. Шушенское

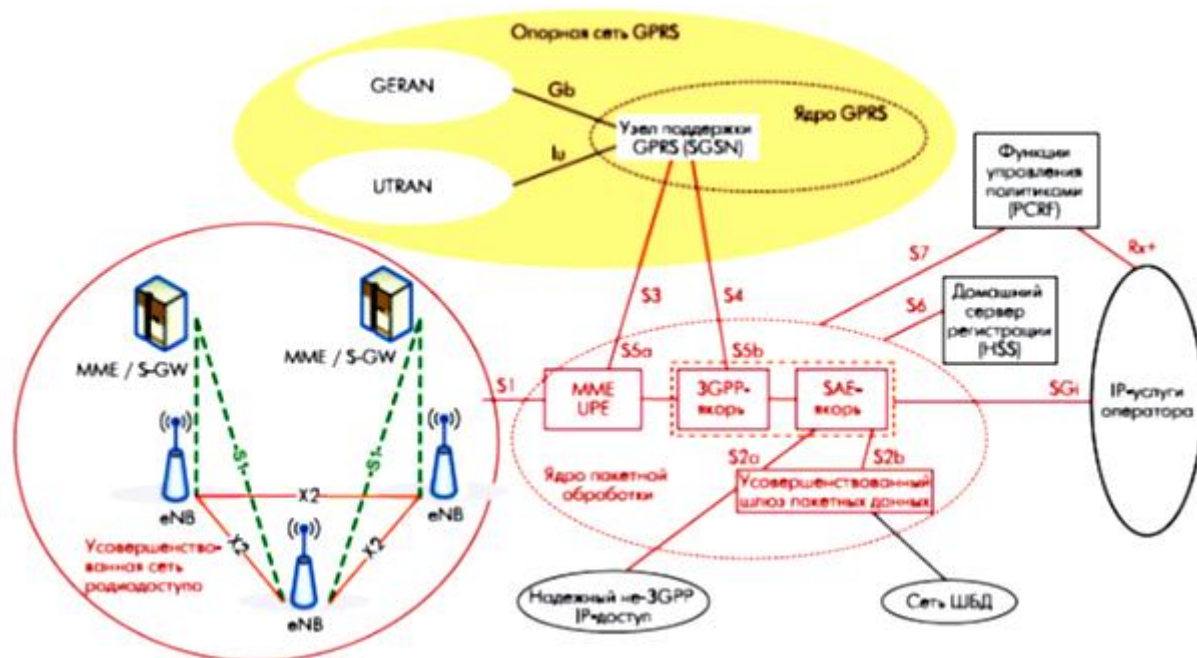
Проектируемая сеть беспроводного широкополосного доступа в пгт. Шушенское должна удовлетворять следующим базовым требованиям:

- поддерживать работу в стандарте LTE;
- предоставлять возможность абонентам пгт. Шушенское и туристам, посещающим заповедник и музейный комплекс, получить высокоскоростной доступ в сеть Internet;
- обеспечивать возможность организации доступа к внешним сетям;
- обеспечивать возможность подключения интерфейсов, использующих IP-протокол, для организации пакетной передачи служебной сигнальной информации, а также голосовой информации и данных;
- реализовать взаимодействие с внешними сетями: телефонной сетью общего пользования (ССОП), другими сетями мобильной связи;
- обеспечивать возможность полнофункционального управления сетью;
- обеспечивать возможность осуществления роуминга и хендвера.

Для реализации указанных требований, проектируемая сеть пгт Шушенское должна включать сетевые элементы – шлюзы и базовые станции, а также интерфейсы выхода к внешним сетям, в том числе на базовую сеть в г. Абакан, а оттуда – к ядру сети МТС в г. Красноярск. С учетом того, что между перечисленными населенными пунктами уже имеется сетевая транспортная инфраструктура на основе волоконно-оптических линий связи, в проекте планируется разработка только решений по организации беспроводного широкополосного доступа. Следовательно, требуется разработать функциональную схему, соответствующую типовой схеме сети LTE, которая обеспечит взаимодействие с другими сетями сотовой связи предыдущих поколений и обеспечит доступ абонентов к источникам контента.

На рисунке 2.3 представлена обобщенная структура сети пгт. Шушенское и опорной сети в г. Абакан.

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



2.3 Обобщенная структурная схема сети LTE для пгт. Шушенское

Как уже отмечалось выше, разработанная сеть будет включать следующие основные сетевые устройства:

- Serving Gateway (SGW) – обслуживающий шлюз сети LTE;
- Public Data Network (PDN) SAE Gateway (PGW) – шлюз к/от сетей других операторов;
- Mobility Management Entity (MME) – узел управления мобильностью;
- Home Subscriber Server (HSS) – сервер абонентских данных;
- SGSN – (Service GPRS Support Node) – шлюз к/от сетей других операторов;
- eNodeB (eNB) – базовая станция сети стандарта LTE.

При этом опорная сеть GPRS, ядро пакетной обработки, шлюзы к сетям ССОП, IP, Интернет, узлы управления мобильностью будут находиться в г. Абакан, а требуемое количество базовых станций – непосредственно в пгт. Шушенское.

3 РАЗРАБОТКА ИНФРАСТРУКТУРЫ СЕТИ LTE В ПГТ ШУШЕНСКОЕ

3.1 Выбор оборудования

В Российской Федерации может применяться оборудование только производителей, которые имеют лицензии, соответственно, и оборудование должно быть сертифицировано. Как показал информационный поиск, оборудование LTE предлагается на рынке многими фирмами [6]:

- Alcatel-Lucent – предлагает портфель продуктов радиодоступа LTE (Alcatel-Lucent LTE radio access portfolio);
- Nokia Siemens Networks и завод Микран начали производство LTE базовых станций на территории России;
- Ericsson (компания по поставкам оборудования LTE занимает долю в 44% (по данным за 2015год) на рынке России);
- Huawei – предлагает комплексное решение HetNet для создания гетерогенных LTE сетей;
- Компания Cisco, совместно с компанией NEC заключили соглашение стратегическом партнерстве в области строительства LTE сетей для операторов связи. Компании поставляют полный ассортимент оборудования для строительства сетей LTE, включая беспроводное сетевое оборудование NEC eNodeB, решения NEC для мобильного транспорта и оборудование Cisco ASR 5000 для мобильных сетей.

Оборудование для построения LTE сети поколения 4G включает: базовые станции (приемо-передатчики) и терминалы (приемники, точки доступа). Для строительства сети LTE оператору связи необходимо получить лицензию на частоты. Так как рассматриваемый в выпускной квалификационной работе фрагмент сети LTE в пгт. Шушенское является расширением существующей сети оператора связи ПАО «МТС», необходимо уточнить на сайте компании

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

сведения об используемом частотном диапазоне, которые будут использованы при расчете зон радиопокрытия и других параметров проектируемой сети. Общая инфраструктура сети показана на рисунке 3.1.

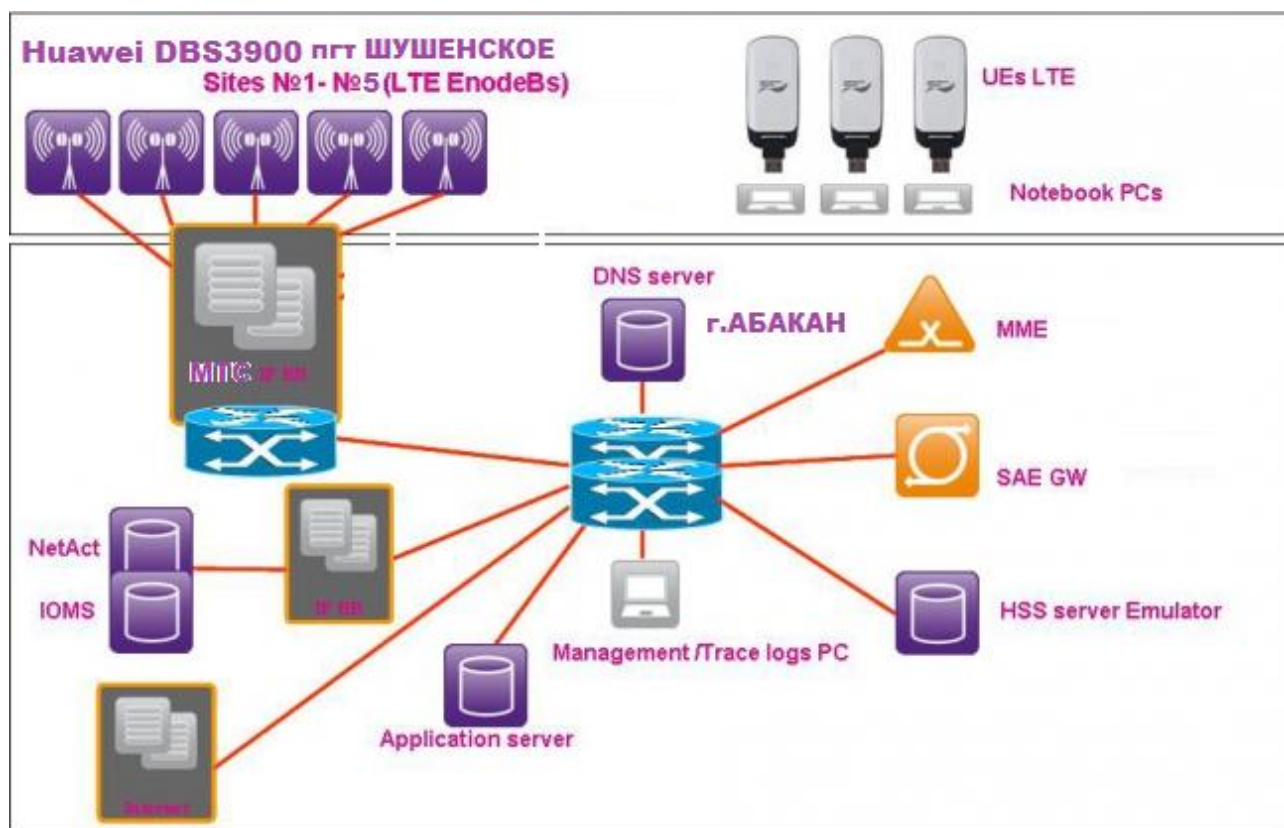


Рисунок 3.1 – Инфраструктура сети LTE

Оператор связи ПАО «МТС» в Красноярском крае реализует сети стандарта LTE на базе оборудования компании Huawei Technologies (Китай), поэтому для реализации сети в данном проекте также выбирается оборудование этой компании. На территории Красноярского края в настоящее время уже используется оборудование Huawei, включающее мультистандартную базовую станцию DBS3900 и оборудование опорной сети Evolved Packet Core.

Быстродействие загрузки информации в клиентские устройства абонентов в диапазоне частот 2,6 ГГц при ширине канала 10 МГц с использованием технологии MIMO 2x2, превышает 70 Мбит/с. По данным Huawei, коммерческие сети LTE на базе продуктов этой компании, создаются в настоящее время в ряде стран Европы и Азиатско-Тихоокеанского региона [7].

3.2 Описание сетевого оборудования

3.2.1 Распределенная базовая станция DBS3900 [7]

Распределенная базовая станция Huawei предоставляет радиодоступ к сетям eLTE. Модульная платформа состоит из узла базовой частоты (BBU3900) и удаленного радиоузла (RRU). Оба модуля отличаются гибкостью установки, простотой развертывания на объекте и низким энергопотреблением.

DBS3900 поддерживает пропускную способность 100 Мбит/с и предоставляет более высокие скорости передачи данных пользователям.

Основные преимущества:

- Поддержка различных частот для LTE TDD (дуплексная передача с разделением по времени), FDD (дуплексная передача с разделением по частоте) (TDD: 1,8 Г/2,3 Г/2,6 Г/3,5 Г/3,7 ГГц; FDD: 700 М/800 М/900 М/1,8 Г/1,9 Г/2,1 ГГц/AWS) обеспечивает более широкую пропускную способность: 3/5/10/20 МГц
- Различные варианты установки и простая процедура подготовки площадок. Блоки обработки базовых частот (BBU) можно устанавливать, как внутри, так и вне помещений. Внешние передатчики (RRU) монтируются на столбе, на мачте или бетонной стене
- Энергоэффективность: снижение нагрузки на окружающую среду за счет инновационных усилителей мощности, приборов контроля температуры, снижения объемов выбросов и эффективного управления энергопотреблением.
- Повышает качество покрытия системы и сокращает затраты за счет установки RRU вблизи антенной системы
- Использование усовершенствованной базовой станции Huawei, поддерживающей широкополосный мобильный доступ eLTE для конвергированных соединений с более низким TCO.

DBS 3900 представляет собой распределенную БС, состоящую из блока

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

обработки базовых частот (BBU) и выносного радиочастотного блока (RRU) (рисунок 3.2).

- DBS3900 components:

- BBU3900
- RRU3908, RRU3804, RRU3008

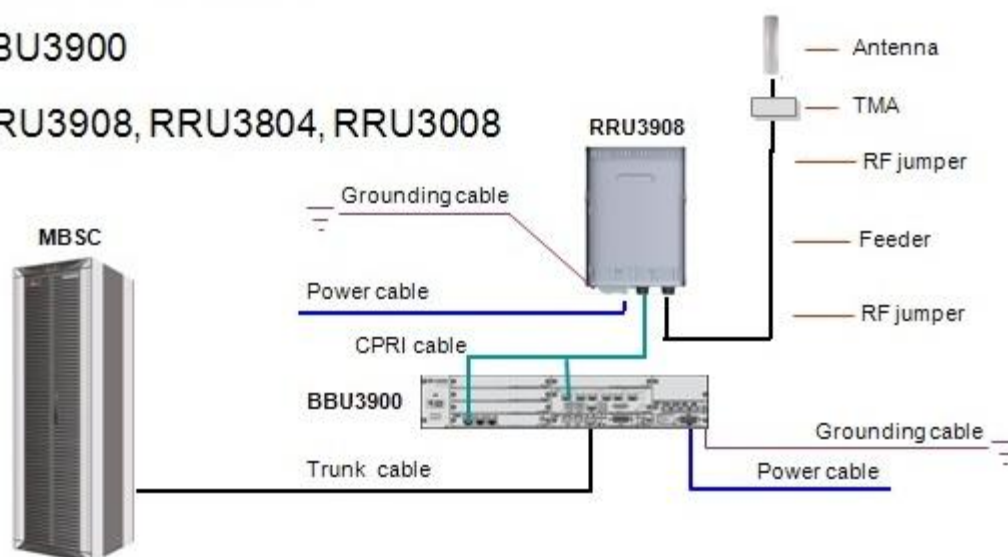


Рисунок 3.2 – Оборудование Huawei DBS 3900:

Секторы соединяются с RRU коаксиальными кабелями. Блоки RRU размещаются наверху радиомачты, рядом с секторами. Блоки RRU соединяются с BBU оптическим кабелем.

BBU3900, блок обработки базовых частот для установки внутри помещений, обеспечивает централизованное управление эксплуатацией и обслуживанием, а также обработку сигнализации всей системы базовой станции и обеспечивает опорный сигнал синхронизации. Блок имеет физические интерфейсы для соединения с BSC и RRU. BBU3900 устанавливают в стив 2 U высотой и шириной 47.5 см. Он может быть установлен в стив 19 “, либо смонтирован на стену.

В BBU3900 устанавливаются дополнительные платы, обеспечивающие мониторинг окружающих условий, мониторинг интерфейса Abis (Abis interface – логический интерфейс между базовой передающей станцией и контроллером базовой станции), и сигналов синхронизации GPRS. BBU3900 это компактное оборудование, простое в установке. Потребляет небольшой

объём мощности и обеспечивает полный спектр услуг.

BBU3900 - это низкочастотная часть распределенной базовой станции Huawei DBS3900. Оптическим кабелем (интерфейс CPRI) этот блок должен соединяться с "радиоголовой" - выносным радиочастотным модулем (например, RRU3004, RRU3606).

BBU размещается на земле в контейнере. Потери на участке BBU-RRU практически равны нулю, т.к. в оптическом кабеле на таких расстояниях затухание незначительно.

Базовая станция DBS3900 обладает следующими характеристиками для обеспечения покрытия:

- RRU поддерживает каскадное соединение 3-х модулей RRU. Один модуль RRU устанавливается на расстоянии до 40 км от BBU;
- статическая чувствительность канала TCH/FS равна -113 дБм (типовое значение при нормальной температуре);
- максимальная выходная мощность RRU3004 составляет 40 Вт;
- максимальная конфигурация - до 12 сот, обеспечение поддержки многополосной сети;
- BBU3900 поддерживает до 72 приёмопередатчиков.
- DBS3900 LTE поддерживает совместное использование сетей 2G или 3G, а также поддерживает хэндовер между LTE и PS-доменом GERAN/UTRAN/CDMA2000. Это упрощает процесс развертывания сети LTE в существующей сети 2G или 3G. Рабочие диапазоны частот: 850/900/1800/1900 МГц (GSM, UMTS) и 1800 МГц (LTE).

Схема подключения базовой станции показана на рисунке 3.3.

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

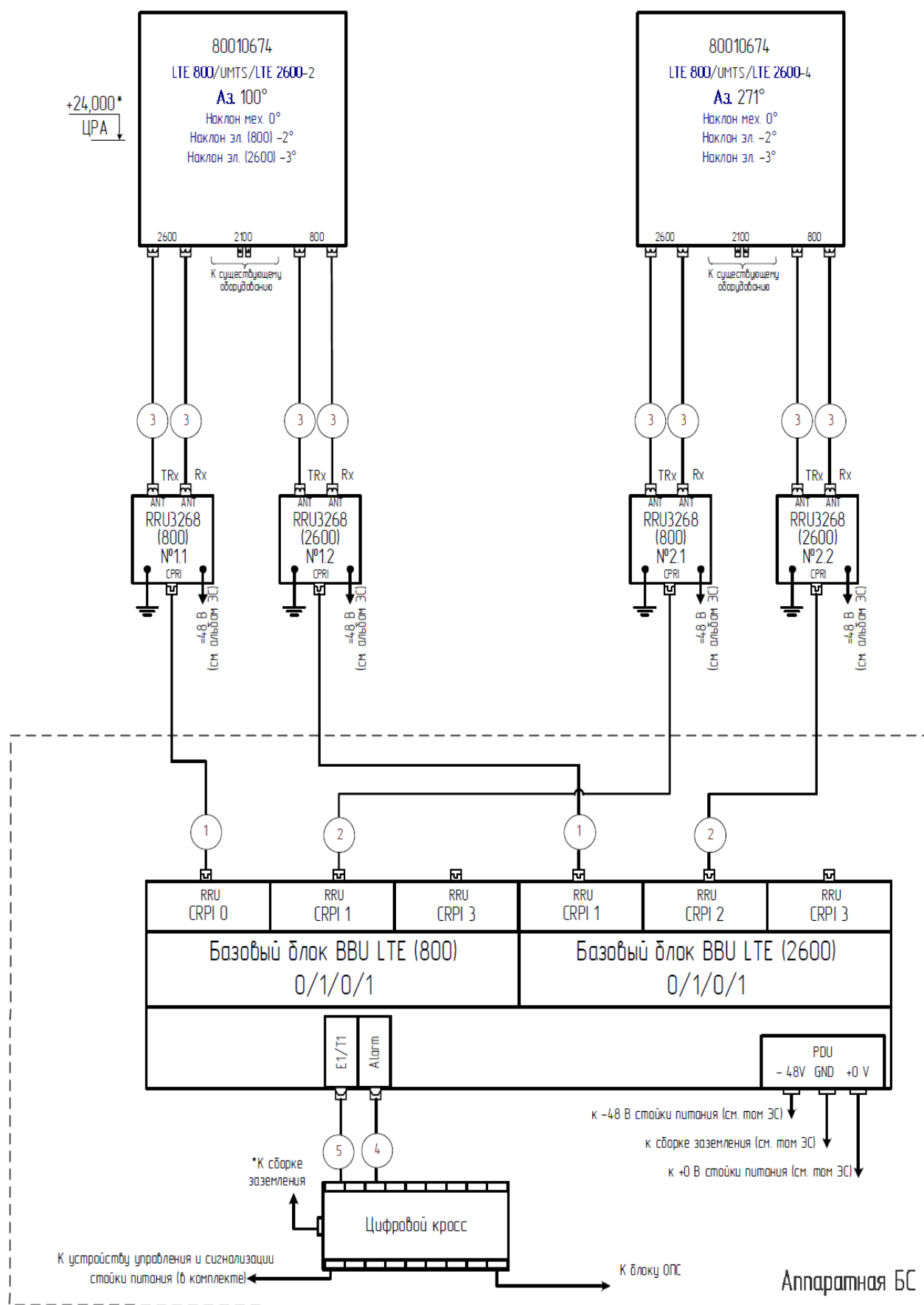


Рисунок 3.3 – Схема подключения базовой станции

Оборудование устанавливается в существующем контейнере-аппаратной. Кабели от кабинета БС до антенн и внешних радиоблоков прокладываются по существующим металлоконструкциям. Прокладка ведется с использованием стандартных элементов крепления, на кабельростах кабели фиксируются при помощи стандартных креплений с шагом 0,8 м. Ввод кабелей осуществляется через существующий кабельный ввод в стене помещения-аппаратной. После прокладки кабелей кабельный ввод герметизируется. Монтаж секторных антенн осуществляется на существующих трубостойках.

В проекте используются существующие системы кондиционирования и охранной пожарной сигнализации.

3.2.2 Антенно-фидерное оборудование

Базовая станция обеспечивает поддержку антенн Remote Electric Tilt (RET). Использование антенн RET позволяет настраивать сетевое покрытие путём регулировки угла наклона антенн в автозале. При этом оператор может сэкономить затраты на эксплуатацию и обслуживание. Поддержка антенн с двойной поляризацией, позволяет сократить число антенн в соте.

Принято решение использовать антенны ADU451503 фирмы Huawei с двойной кроссполяризацией, работающие в диапазонах частот 790-960/1710-2180 МГц. Это многодиапазонная антенна (multiband), в которой соединены две антенные решетки, работающие в низком и высоком частотных диапазонах. При этом для каждого частотного диапазона предусмотрен независимый механизм изменения угла наклона диаграммы направленности. Использование таких антенн позволит сэкономить место, которое антенна занимает на мачте. В современных антеннах с помощью электрической регулировки можно менять угол наклона диаграммы направленности без изменения самой ДН и делать это дистанционно. Такая технология получила название RET – Remote Electrical

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Downtilt. Это было реализовано за счет внутреннего фазовращателя.

Все эти новшества позволили более точно управлять углом наклона ДН (диаграмма направленности) и устанавливать границы соты. Электрический поворот антенны варьируется от 0° до 10°.

3.2.3 Выбор оборудования транспортного сегмента

Главная задача транспортной сети – обеспечение требуемой полосы пропускания и сопряжение с внешними сетями для доступа к источникам контента. Для взаимодействия проектируемой сети с остальными сегментами LTE, а также для сопряжения с частями сотовой инфраструктуры 3G, используется IP-протокол. Так как в сети LTE функции контроллера сети доступа и шифрования данных возложены на базовые станции, необходимо обеспечить достаточную полосу пропускания, поэтому приемлемым решением будет организация волоконно-оптической сети связи и использование технологии 10GEthernet. Сети Ethernet имеют следующую архитектуру: уровень доступа (эта часть как раз и реализуется на базе беспроводного сегмента LTE, точками сопряжения являются базовые станции), уровень агрегации и уровень ядра. Следовательно, для организации широкополосного транспортного сегмента необходимо выбрать высокопроизводительный маршрутизатор, адаптированный под требования LTE, и коммутаторы, обеспечивающие коммутацию данных на третьем уровне сетевой модели OSI. Компания Huawei предлагает широкую линейку оборудования, поэтому в проекте используется оборудование данной компании на всех сегментах сети.

Для подключения БС к опорной транспортной сети принято решение использовать маршрутизатор базовых станций (Cell Site Router – CSR) с поддержкой соединения Ethernet 10 Гбит/с, предназначенный для работы в транспортной сети LTE. Компактный маршрутизатор ATN 950B позволяет

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

увеличить пропускную способность с 1 до 10 Гбит/с в разных фазах LTE и в будущих стандартах. Глубина устройства составляет 300 мм, поэтому оно может монтироваться в одну стойку с базовой станцией eNodeB. ATN 950B также поддерживает стандарты кольцевой сети 10GE, L2VPN, L3VPN, H-QoS и позволяет гибко планировать разнообразные сервисы в комплексных сетях. Оборудование поддерживает работу с различными системами точной синхронизации, такими как ACR, синхронизированный Ethernet и IEEE1588v2. [15].

3.3 Расчет зон радиопокрытия и выбор мест размещения базовых станций

Различные этапы процесса расчета параметров зависят от типа версии LTE, частотного диапазона и требуемой полосы пропускания сети. Методы и модели для охвата и планирования мощностей разработаны для определения размеров радиодоступа LTE сетей.

При проектировании мест размещения базовых станций в пгт. Шушенское определён бюджет радиолинии наряду с детальным покрытием и вместимостью. Кроме того, учтены потенциальные места размещения базовых станций – как показал анализ объекта проектирования, оборудование базовых станций целесообразно устанавливать на существующих антенно-мачтовых сооружениях для экономии капитальных вложений. Тем более, посёлок имеет небольшую площадь и компактное размещение домовладений (рисунок 3.4).

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

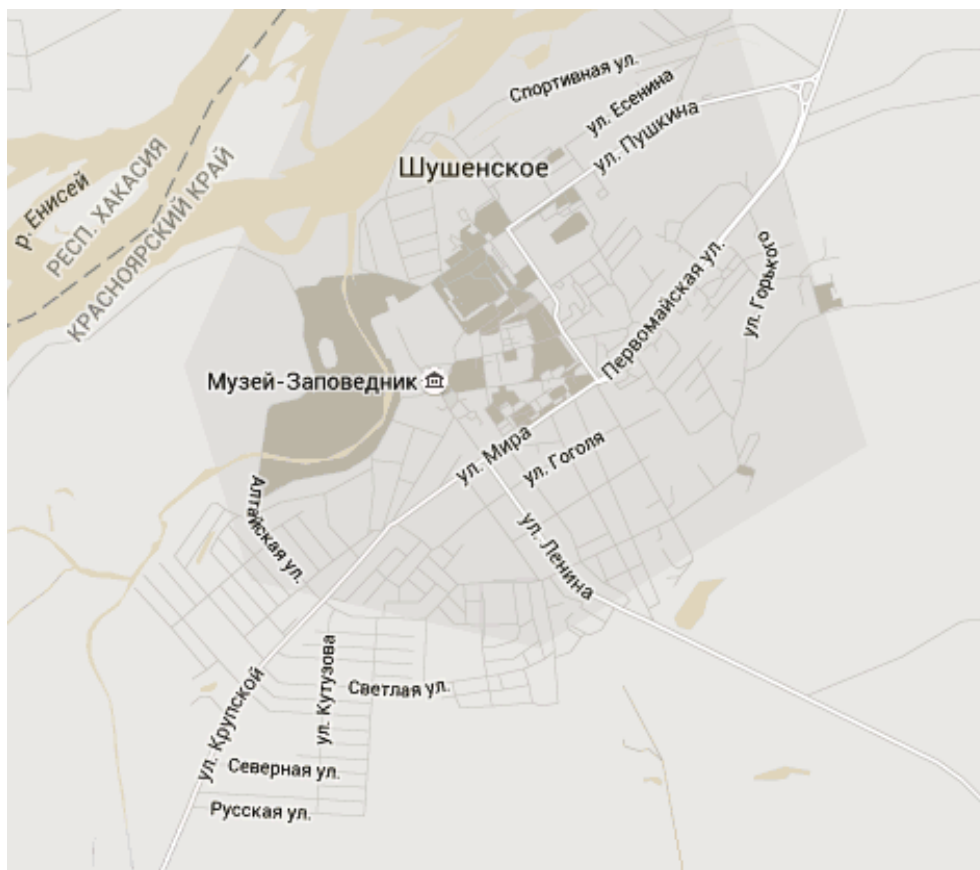


Рисунок 3.4 – План пгт. Шушенское

В посёлке уже существует инфраструктура операторов связи, а именно – в центральном районе почтамт (ул. Ленина, дом 66), недалеко от центрального комплекса Музея-Заповедника; Шушенская телефонная станция (региональный филиал Сибирьтелеком-Электросвязь Красноярского Края, ул. Полукольева, дом 5); почтовое отделение (ул. Пионерская, дом 33).

В этих точках уже установлены антенно-мачтовые сооружения, с размещенными станциями GSM-связи Оператора ПАО «МТС». Для размещения других радиочастотных блоков LTE не целесообразно строить новые антенно-мачтовые сооружения, т.к. это приведёт к дополнительным расходам Оператора связи. Усреднённые высоты подвеса для размещения антенн LTE составляют 20...30 метров, соответственно размещения антенн подойдут высотные сооружения – водонапорная башня, например.

Одна из базовых станций будет размещена в зоне, охватывающей музей-заповедник и национальный парк «Шушенский бор» для обеспечения

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

широкополосным радиодоступом абонентов – туристов, приезжающих в регион. Это положительно скажется на востребованности туристических услуг, и повысит показатели экономического благосостояния района.

3.3.1 Оценка параметров зоны обслуживания сети LTE в пгт. Шушенское

Внедрение сетей LTE, которые обеспечивают большие скорости передачи данных и качественные инфокоммуникационные услуги, позволяют Операторам связи получать прибыль, быть конкурентоспособными на рынке телекоммуникационных услуг при общем снижении расходов на эксплуатацию инфокоммуникационного оборудования.

Основные технические характеристики стандарта LTE:

- Как указано в стандарте, при радиусе соты LTE 5 километров поддерживаются все требования к спектральной эффективности, пропускной способности и работе с мобильными абонентами. Если радиус соты составляет 30 километров, значительно ухудшаются показатели производительности.

- Двухнаправленная передача данных между базовыми и абонентскими данными в технологии LTE может осуществляться как частотным (FDD), так и временным дуплексом (TDD). Для организации частотного дуплекса стандартом определено 15 парных частотных диапазонов (частоты от 800 МГц до 3,5 ГГц), а для временного - восемь. Ширина радиоканала может быть различной. Являются допустимыми значения: 1,4; 3; 5; 10; 15 и 20 МГц. В сетях LTE для организации множественного доступа используются OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) в нисходящем канале и SC-FDMA в восходящем канале.

При частотном планировании сети LTE в пгт. Шушенское нужно рассматривать не частоты, а полосы частот. Площадь территории посёлка

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

составляет 1,29 км², из них жилая застройка – 0,83 км², численность постоянного населения 16500 человек [2].

Планирование сети LTE пгт. Шушенское включает:

- Определение бюджета канала (с учетом технических характеристик аппаратуры Huawei определяются максимальные потери сигнала при распространении в радиоканале);
- Оценка радиопокрытия (определение количества сайтов (ячеек) в сети с разным набором частот);
- Оценка ёмкости (количество сайтов-ячеек, которые должны быть развернуты в соответствии с требованиями ёмкости сети);
- Частотное планирование (полоса канала, диапазон сети);
- Расчет параметров кабельной инфраструктуры, определение суммарного затухания на кабельном участке;
- Ситуационное расположение базовых станций eNB на территории пгт. Шушенское;
- Расчет скорости передачи данных базовой станцией.

Проведём оценку энергетического бюджета потерь или максимально допустимых потерь (МДП) на линии. МДП рассчитывается, как разность между эквивалентной изотропной излучаемой мощностью (ЭИИМ) передатчика и минимально необходимой мощностью сигнала на входе приемника, при которой с учетом всех потерь в канале связи обеспечивается нормальная демодуляция сигнала в приемнике.

Эквивалентная изотропная излучаемая мощность определяется как мощность, которую необходимо подать на изотропную антенну для того, чтобы получить в точке приема точно такое же поле, которое будет получено в ней при помощи антенны с коэффициентом усиления G , на вход которой подана мощность $P_{вх}$.

$$P_{ЭИИМ} = P_{прд} + G_{прд} + G_{прд ан} - L_{прд.ф} \quad (3.1)$$

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Схематично это изображено на рисунке 3.5.

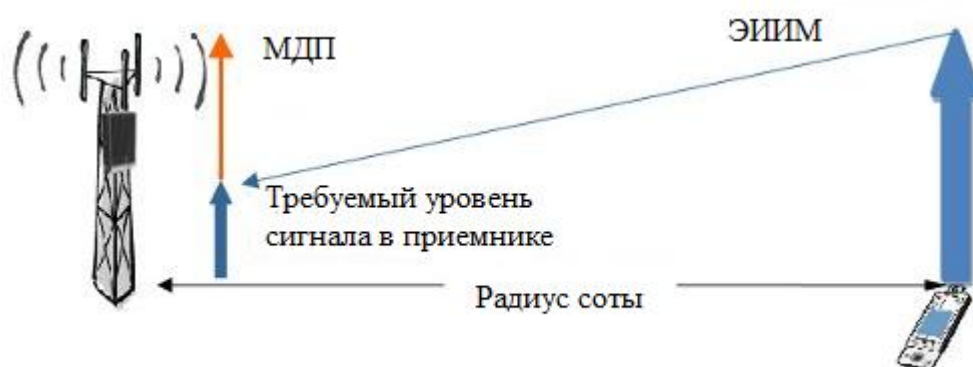


Рисунок 3.5 – Геометрическое представление эквивалентной изотропной излучаемой мощности

Для расчета выберем соответствующие характеристики базовой станции фирмы Huawei DBS 3900.

Проектируемая сеть LTE будет работать в диапазоне частот 1800 МГц с шириной полосы канала 20 МГц по принципу частотного разделения каналов FDD, т.е. системная полоса будет разделяться на два канала по 10 МГц для линии вверх (UL) и линии вниз (DL).

Выносной радиочастотный модуль базовой станции Huawei RRU 3929 будет устанавливаться вблизи антенны (выбирается данный вариант размещения).

Для расчета в качестве абонентской станции выбран Wi-Fi роутер Huawei E5372, который имеет малые габариты (10x5x1,5 см) и может поддерживать до десяти пользователей. Для использования антенн в режиме MIMO будет использован дуплексный антенный разъем (для подключения внешней усиленной антенны).

Поддерживаемые стандарты и рабочие частоты:

- 4G LTE 1800 / 2100 / 2600 / 800 / 900 МГц
- 3G / 3.5G UMTS/DC-HSPA+ 1900 / 2100 / 850 / 900 МГц

- 2G GSM / GPRS / EDGE 1800 / 1900 / 850 / 900 МГц

Скорость передачи данных:

- 4G LTE FDD (входящие/исходящие) - до 150 / 50 Мбит/сек

- 4G LTE TDD (входящие/исходящие) - до 112 / 10 Мбит/сек

- 3G DC-HSPA+ - до 43,2 Мбит/сек

- 2G EDGE/GPRS - до 236,8 кбит/сек

Выбираются MIMO антенны с двумя коэффициентами усиления: панельная антенна 18 дБи MIMO для мест с плохим приемом сигнала или полным его отсутствием, и панельная антенна 10 дБи MIMO для использования в местах неуверенного или плохого приема сети.

Выходная мощность – 18 дБм.

Рассчитаем энергетический бюджет системы LTE с частотным дуплексом FDD, работающей в диапазоне 1800 МГц. Полоса 20 МГц, т.е. в случае FDD системная полоса будет разделяться на два канала по 10 МГц для линии вверх (UL) и линии вниз (DL).

Вид модуляции для линии вниз – QAM64, для линии вверх – QAM32.

В расчете использованы параметры базовых станций и радиочастотных блоков, каждый сектор которых содержит приемо-передатчик, выходная мощность которого - 40 Вт (46 дБм). Радиочастотный блок устанавливается в непосредственной близости от антенны. Базовая станция работает на линии вниз в режиме MIMO 2x2. Поскольку энергетический бюджет рассчитывается для абонентской станции (АС) на краю соты, т.е. принимающей сигналы от БС с низким отношением сигнал/шум (ОСШ), то БС передает сигналы на эту АС в режиме разнесенной передачи. За счет сложения мощностей сигналов двух передатчиков в пространстве можно получить энергетический выигрыш (3 дБ). В качестве абонентской станции выбран мобильный Wi-Fi роутер компании Huawei E5372, выходная мощность – 18 дБм.

Исходные данные для расчета [9]:

Энергетические параметры Downlink:

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

Выходная мощность БС Рпрд 46 дБм
 Коэффициент усиления антенны БС Gпрд ан. 18дБи
 Коэффициент усиления антенны МС Gпрм ан. 0дБи
 Потери кабеля (между RF и BBU в базовой станции, рекомендуется применять волоконно-оптический кабель) Lпрд.ф = дБ Lпрм ан. = 0,5 дБ
 Выигрыш от сложения мощности передатчиков Gпрд. 3дБ
 Мощность теплового шума PN составит -104.4дБм
 Требуемое отношение сигнал-шум MSNR -0.24дБ
 Коэффициент шума приемника LN 7 дБ
 Запас на помехи Mпомехи 8.51дБ
 Запас на проникновение в помещение Mпроник. 12дБ
 Запас на затенение Mзатен. 8.7дБ
 Выигрыш от хэндовера Gхэнд. 2.5дБ
Энергетические параметры Uplink:
 Выходная мощность МС Рпрд. 23дБм
 Коэффициент усиления антенны БС Gпрд ан. 0дБи
 Коэффициент усиления антенны МС Gпрм ан. 18дБи
 Мощность теплового шума PN= -118.4 дБм
 Требуемое отношение сигнал-шум MSNR 0.61 дБ
 Коэффициент шума приемника LN 2.5дБ
 Запас на помехи Mпомехи 3.8дБ
 Запас на проникновение в помещение Mпроник 12 дБ
 Запас на затенение Mзатен. 8.7дБ
 Выигрыш от хэндовера Gхэнд. 2.5дБ
 Запас на проникновение сигнала в помещение Mпроник. выбирается из условий:
 - 22 дБ в условиях плотной городской застройки;
 - 17 дБ в условиях средней городской застройки;
 - 12 дБ в условиях редкой застройки (в пригороде);

- 8 дБ в сельской местности (на открытой местности в автомобиле).

Запас на затенение Мзатен. для расчета выбираем 8,7 дБ (для требуемой вероятности покрытия 95% и среднеквадратичного отклонения потерь на затенение 8дБ – для сельской местности пгт. Шушенское).

При расчете используется величина запаса на внутрисистемные помехи, которая характеризует возрастание мощности шума на входе приемника.

Запас на внутрисистемные помехи:

$$M_{\text{помехи}} = -10 \cdot \log_{10}(1 - \eta), \quad (3.2)$$

где η – относительная загрузка соты в восходящей или нисходящей линии.

Таким образом, запас на внутрисистемные помехи является функцией от загрузки соты: чем больше разрешенная нагрузка в соте, тем большую величину запаса необходимо учесть в расчете. При росте нагрузки до 100% запас на помехи стремится к бесконечности, и зона обслуживания соты уменьшается до нуля.

Для направления *Downlink*:

$$M_{\text{помехи}} = -10 \lg(1 - 0.86) = 8.51 \text{ дБ},$$

Для направления *Uplink*:

$$M_{\text{помехи}} = -10 \lg(1 - 0.59) = 3.8 \text{ дБ}.$$

По формуле (3.1) определим эффективно изотропно излучаемую мощность:

Для направления *Downlink*:

$$P_{\text{ЭИИМ}} = P_{\text{прд.}} + G_{\text{прд.}} + G_{\text{прд ан.}} - L_{\text{прд.ф}} = 46 + 3 + 18 - 0.5 = 66.5 \text{ дБм}$$

Для направления *Uplink*:

$$P_{\text{ЭИИМ}} = P_{\text{прд.}} + G_{\text{прд.}} + G_{\text{прд ан.}} - L_{\text{прд.ф}} = 23 + 0 + 0 - 0 = 23 \text{ дБм}$$

Чувствительность приемника рассчитывается

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$S_{\text{прм}} = P_N + M_{\text{SNR}} + L_N \quad (3.3)$$

Для направления *Downlink*:

$$S_{\text{прм DL}} = -104,4 - 0,24 + 7 = -97,6 \text{ дБм}$$

Для направления *Uplink*:

$$S_{\text{прм UL}} = -118,4 + 0,61 + 2,5 = -115,29 \text{ дБм}$$

Общее затухание по энергетическим характеристикам рассчитывается

$$L_{\text{сум}} = P_{\text{ЭИИМ}} - S_{\text{прм}} + G_{\text{прм ан}} - L_{\text{прм ан}} - M_{\text{проник}} - M_{\text{помехи}} - M_{\text{затен.}} + G_{\text{хэнд}} \quad (3.4)$$

Для направления *Downlink*:

$$L_{\text{сум DL}} = 66,5 + 97,6 - 0 - 0 - 12 - 8,51 - 8,7 + 2,5 = 137,39 \text{ дБ}$$

Для направления *Uplink*:

$$L_{\text{сум UL}} = 23 + 115,29 + 18 - 0,5 - 12 - 3,8 - 8,7 + 2,5 = 133,79 \text{ дБ}$$

Из двух значений допустимых помех, рассчитанных для линий «вниз» и «вверх» нужно выбрать минимальное, чтобы вести последующие расчеты дальности связи и радиуса соты. Ограничивающей линией по дальности связи является линия «вверх».

Далее проведём расчет для вероятности битовой ошибки $P_b = 10^{-4}$ для модуляции QPSK. Для достижения необходимой вероятности ошибки на бит нужно обеспечить ОСШ равный 8.5 дБ для QPSK.

В расчете принят энергетический выигрыш равный 3дБ. Таким образом, для QPSK необходимо обеспечить ОСШ = 8,5-3=5,5 дБ.

Определим уровень мощности излучения передающего устройства:

$$P_{\text{прд}} = P_{\text{прм}} + L_{\text{сум}} - G_{\text{прд ан}} - G_{\text{прм ан}} \quad (3.5)$$

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где $P_{\text{прм}}$ - чувствительность приемника, $L_{\text{сум}}=133,79$ дБ – уже рассчитанное затухание в радиоканале для уровня вверх UL, $G_{\text{прд ан}} = 0$ дБ – коэффициент усиления передающей антенны, $G_{\text{прм ан}} = 18$ дБ – коэффициент усиления приемной антенны.

Чувствительность приемника равна

$$P_{\text{прм}} = P_{\text{ш}} + N_k + \frac{C}{N}, \quad (3.6)$$

где $P_{\text{ш}}$ - мощность шума на входе приемника, $N_k = 7$ дБ - коэффициент шума приемника, C/N - аналоговое ОСШ.

Проведем расчет мощности передатчика и чувствительности приемника для профиля с QPSK.

Зная эффективную полосу пропускания, определим скорость передачи данных.

$$R_n = \Delta f \cdot \log_2 M = 10 \cdot 10^6 \cdot \log_2 4 = 20 \cdot 10^6 \text{ бит/с}$$

Шумовая полоса:

$$P_{\text{ш}} = 10 \cdot 10^6 \cdot 1.1 = 11 \cdot 10^6 \text{ Гц}$$

Мощность шума на входе приемника:

$$P_{\text{ш}} = 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 11 \cdot 10^6 = 44.47 \cdot 10^{-15} = -133.519 \text{ дБ}$$

Аналоговое отношение сигнал/шум:

$$C/N = 5.5 + \log_2(20 \cdot 10^6 / 11 \cdot 10^6) = 6.36 \text{ дБ}$$

Рассчитаем чувствительность приемника для линии вверх UL:

$$P_{\text{прм}} = -133.519 + 7 + 6.36 = -120.15 \text{ дБ} = 9.66 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}$$

Мощность передатчика для передачи одной поднесущей для линии вверх UL:

$$P_{\text{прд}} = -120.15 + 133.79 - 0 - 18 = -4.36 \text{ дБ} = 0.366 \text{ Вт}$$

Мощность передатчика для передачи всего сигнала для линии вверх UL:

$$P_{\text{прд}} = 0.366 \cdot 601 = 219.966 \text{ Вт}$$

При заданном значении вероятности битовой ошибки $P_b=10^{-4}$ для модуляции QPSK рассчитаны чувствительность приемника и мощность передатчика для передачи сигнала для линии вверх UL.

3.3.2 Расчет зоны радиопокрытия по модели COST 231 - Хата

Оценить радиус зоны радиопокрытия можно, используя модель COST 231 - Хата в диапазоне от 1,5 до 2 ГГц, при высоте размещения антенны базовой станции от 30 до 200 м, высоте антенны абонентской станции от 1 до 10 м и расстоянии между ними от 1 до 20 км.

Затухание рассчитывают по формуле:

$$L_{\text{мдн}} = (44,9 - 6,55Lg(H_{\text{бс}}))Lg(d_c) + 45,5 + (35,46 - 1,1H_{\text{мс}})Lg(f) - 13,82Lg(H_{\text{бс}}) + 0,7H_{\text{мс}} + C \quad (3.7)$$

где C – постоянная: для средних городов и пригородных районов с умеренной растительностью $C = 0$, для центров крупных городов $C = 3$.

Примем $f_0 = 1880$ МГц, $h_b = 30$ м, $h_m = 3$ м, $C=0$ (для пгт. Шушенское)

Поправочный коэффициент $a(h_m)$ определяется по формуле:

$$a(h_m) = (1,1 \log f_0 - 0,7) \cdot h_m - (1,56 \log f_0 - 0,8) \quad (3.8)$$

$$a(h_m) = (1,1 \log 1880 - 0,7) \cdot 3 - (1,56 \log 1880 - 0,8) = 4,39$$

В формулу (3.7) подставим рассчитанные значения:

$$133,79 = 46,3 + 33,9 \lg 1880 - 13,83 \lg 30 - 4,39 + [44,9 - 6,55 \lg 30] \lg r + 0.$$

Из уравнения вычислим дальность связи $r = 1,62$ км.

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Площадь радиопокрытия трехсекторного сайта базовой станции S_{eNB} определим по формуле:

$$S_c = 9\sqrt{3}(d_c)^2 / 8 \quad (3.9)$$

$$S_{eNB} = 9 \frac{\sqrt{3}}{8} \cdot 1.62^2 \approx 5,11 \text{ (км}^2\text{)}.$$

Таким образом, требуемые характеристики системы радиосвязи стандарта LTE достигаются, если радиус соты не превышает 1,62 км, а площадь радиопокрытия – 5,11 км. Как показал предварительный расчёт, с целью обеспечения требуемой зоны радиопокрытия в пгт. Шушенское рекомендуется разместить 4 базовые станции. Количество базовых станций будет уточняться при расчете требуемой полосы пропускания на сайт, с учетом количества абонентов – 3300. [8, 9, 10, 11]

3.4 Оценка ёмкости сети

Спектральная эффективность системы мобильной связи представляет собой показатель, вычисляемый как отношение скорости (в бит/с) передаваемых данных на 1 Гц используемой полосы частот (бит/с/Гц).

Таблица 3.1 - Средняя спектральная эффективность для сети LTE

Линия	Схема MIMO	Средняя спектральная эффективность (бит/с/Гц)
UL	1×2	0,735
	1×4	1,103
DL	2×2	1,69
	4×2	1,87
	4×4	2,67

Эта величина характеризует скорость передачи информации в заданной полосе частот. Оценим среднюю пропускную способность, которую следует ожидать в проектируемой сети LTE в полосе 20 МГц ($180 \cdot 100 = 18 \text{ МГц}$) в канале «вниз» при условии, что распределение абонентов в зоне обслуживания равномерное, передача ведется по технологии MIMO 2x2 в режиме пространственного мультиплексирования. Схема подключения – MIMO 2 x 2 для линии вниз и 1 x 2 – для линии вверх, расстояние между сайтами равно 500м.

Для системы FDD средняя пропускная способность 1 сектора базовой станции может быть рассчитана по формуле:

$$R=S \cdot W, \quad (3.10)$$

где S – средняя спектральная эффективность (бит/с/Гц);

W – ширина канала (МГц); $W = 10 \text{ МГц}$.

Для линии DL («вниз»):

$$R_{DL} = 1,69 \cdot 10 = 16,9 \text{ бит/с/Гц}.$$

Для линии UL («вверх»):

$$R_{UL} = 0,735 \cdot 10 = 7,35 \text{ бит/с/Гц}$$

Средняя пропускная способность базовой станции R_{eNB} вычисляется как произведение пропускной способности одного сектора и количества секторов базовой станции. Число секторов eNB равно трём, следовательно:

$$R_{eNB} = R_{DL/UL} \cdot 3 \quad (3.11)$$

Для линии DL («вниз»):

$$R_{eNB.DL} = 16,9 \cdot 3 = 50,79 \text{ Мбит/с}$$

Для линии UL («вверх»):

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

$$R_{eNB,UL} = 11,03 \cdot 3 = 22,05 \text{ Мбит/с}$$

Далее необходимо определить количество сот проектируемой сети LTE. Рассчитаем общее число каналов, выделяемых для развертывания проектируемой сети LTE. Весь канальный ресурс разбивается на ресурсные блоки (Resource Block, RB). Каждый блок состоит из 12 расположенных рядом поднесущих, занимающих полосу 180 кГц.

Общее число каналов N_k рассчитывается по формуле:

$$N_k = \left[\frac{\Delta f_{\Sigma}}{\Delta f_k} \right] \quad (3.12)$$

где Δf_{Σ} - полоса частот, выделенная для работы сети, 95 МГц;

Δf_k – полоса частот одного радиоканала;

Радиоканалом в сетях LTE является, фактически, ресурсный блок. Ресурсный блок имеет ширину 180 кГц, $\Delta f_k = 180$ кГц.

$$N_k = 95000 / 180 \approx 527 \text{ (каналов)}$$

Число каналов $N_{k,сек}$, которое необходимо использовать для обслуживания абонентов в одном секторе одной соты:

$$N_{k,сек} = \left[\frac{N_k}{(N_{кл} \cdot M_{сек})} \right], \quad (3.13)$$

где N_k – общее число каналов;

$N_{кл}$ – размерность кластера, выбираемая с учетом количества секторов eNB, принимается равной 3;

$M_{сек}$ – количество секторов eNB, базовая станция 3-х секционная, равно 3.

$$N_{k,сек} = \left[\frac{527}{(3 \cdot 3)} \right] \approx 58 \text{ (каналов)}.$$

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Число каналов трафика в одном секторе одной соты $N_{кт.сек}$:

$$N_{кт.сек} = N_{кт1} \cdot N_{к.сек}, \quad (3.14)$$

где $N_{кт1}$ – число каналов трафика в одном радиоканале, определяемое стандартом радиодоступа (для OFDMA $N_{кт1} = 1...3$); для сети LTE примем $N_{кт1} = 1$.

$$N_{кт.сек} = 1 \cdot 58 \approx 58 \text{ (каналов)}.$$

В соответствии с моделью Эрланга, рассчитаем допустимую нагрузку в секторе одной соты $A_{сек}$ при допустимом значении вероятности блокировки равной 1% и полученным выше значением $N_{кт.сек}$.

$$A_{сек} = 60 \text{ Эрл.}$$

Число абонентов, которое будет обслуживаться одной eNB:

$$N_{аб.еNB} = M_{сек} \cdot \left[\frac{A_{сек}}{A_1} \right],$$

где A_1 – средняя по всем видам трафика абонентская нагрузка от одного абонента; значение A_1 может составлять (0,04...0,2) Эрл. Так как проектируемая сеть планируется использоваться для высокоскоростного обмена информацией, то значение A_1 примем равным 0,2 Эрл.

Получим значения:

$$N_{аб.еNB} = 3 \cdot \left[\frac{60}{0,2} \right] \approx 900 \text{ (абонентов)}.$$

Как показывает анализ информационных ресурсов [22], по статистике Операторов связи, уже эксплуатирующих сети LTE, число абонентов на один сектор базовой станции варьируется от 250 до 350, рассчитанное количество абонентов на трехсекторную базовую станцию – 900, что вполне соответствует

статистике.

Число базовых станций eNB в проектируемой сети LTE:

$$N_{eNB} = \left\lceil \frac{N_{аб}}{N_{аб.eNB}} \right\rceil + 1 \quad (3.15)$$

где $N_{аб}$ – количество потенциальных абонентов.

Количество потенциальных абонентов зависит от прогнозируемого процента проникновения, примем его 20% от общего числа жителей пгт. Шушенское. Таким образом, количество потенциальных абонентов составит 3300 человек, тогда:

$$N_{eNB} = 3300 / 900 + 1 \approx 5 \text{ eNB}.$$

Средняя планируемая пропускная способность R_N проектируемой сети определяется как произведение количества eNB и средней пропускной способности eNB:

$$R_N = (R_{eNB.DL} + R_{eNB.UL}) \cdot N_{eNB}, \quad (3.16)$$

$$R_N = (50,79 + 22,05) \cdot 5 \approx 364,2 \text{ Мбит/с}.$$

Проведем оценку ёмкости проектируемой сети, и сравним с рассчитанной на линии «вниз».

Таблица 3.2 – Линия «вниз»

Конфигурация системы	FDD 20 МГц
Линия	DL
Средняя спектральная эффективность системы	2,42 бит/с/Гц
Средний объем трафика eNB, Мбит/с	72,84
Средний объем трафика пяти базовых станций eNB, Мбит/с	364,2

Таблица 3.3 – Результаты оценки абонентской ёмкости

Параметр		Значение
Объем выделенного абонентского трафика, Гбайт/месяц	T_a	30
Число ЧНН в день	N_{hour}	17
Число дней в месяце	N_{days}	30
Средняя скорость потребления трафика абонентом в ЧНН, Мбит/с	$R_t = \frac{T_a * 8}{N_{hour} * N_{days}}$	0.131
Доля трафика «вниз»	S_{dl}	80%
Усредненный трафик абонента в ЧНН (часы наибольшей нагрузки) на линии «вниз», Мбит/с	$T_{dl} = R_t * S_{dl}$	0,1
Средний объем трафика сети (5 базовых станций), Мбит/с	T_{set}	364,2
Число абонентов сети, чел	$N_a = \frac{T_{set}}{T_{dl}}$	3642

Таким образом, ожидаемое число абонентов в сети в ЧНН $N_a > N_{аб}$ (количество потенциальных абонентов): $3642 > 3300$. Это условие показывает, что проектируемая сеть не будет подвергаться перегрузкам в ЧНН. Следовательно, расчет параметров выполнен корректно.

Как показал расчет параметров зоны радиопокрытия, одна базовая станция обеспечивает устойчивым радиообменом с абонентскими станциями территорию площадью 5,11 км, вместе с тем, для требуемой широкополосности в системе необходимо установить 5 базовых станций, с трехсекторными антеннами. На рисунке 3.6 показаны рекомендуемые места размещения базовых

станций.

В районе с высокой концентрацией абонентов (вдоль центральной улицы посёлка – ул. Крупской, между улицами Грибоедова и Береговой), расстояние между базовыми станциями будет меньше, чем в северо-восточном секторе посёлка, здесь будут установлены 2 БС. Ещё одна БС будет покрывать территорию не только посёлка, но и части музейного комплекса, с гостиницами и туристической инфраструктурой (здание почтового отделения, ул. Ленина, дом 66). Ещё две БС будут расположены в почтовых отделениях, по ул. Пионерская и ул. Полукольева (угол с ул. Пушкина).



Рисунок 3.6 – Планируемое размещение базовых станций в пгт.Шушенское

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

Далее необходимо распределить частотный спектр, и провести частотно-территориальное планирование сети, состоящей из пяти базовых станций.

3.5 Частотное планирование

Для распределения частотного ресурса составлен частотный план. В проектируемой сети используется диапазон частот для линии «вверх» (UL) 1749,9 – 1784,9 (МГц), для линии «вниз» (DL) 1844,9 – 1879,9 (МГц).

Ширина частотного спектра составляет 95 МГц. Каждому сектору eNB нужно выделить 20 МГц. Таким образом, имеющаяся ширина спектра разделится на 3 части по 20 МГц, к ним для избежания перекрытия сигналов разных секторов добавляются защитные частотные полосы. Присвоим каждой из трех частей спектра условный номер и результаты составления частотного плана сведем в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 - Частотный план сети LTE в пгт. Шушенское

Номер eNB	Сектор	Азимут	Радиус зоны обслуживания, км	Условный номер части частотного спектра
1	1.1	0	1,62	1
	1.2	120		2
	1.3	240		3
2	2.1	0	1,62	1
	2.2	120		2
	2.3	240		3
3	3.1	0	1,62	1
	3.2	120		2
	3.3	240		3
4	4.1	0	1,62	1
	4.2	120		2
	4.3	240		3
5	5.1	0	1,62	1
	5.2	120		2
	5.3	240		3

Одним из основных требований является качество антенно-фидерного устройства, т.к. его параметры влияют на качество связи. Принято решение использовать для базовой станции секторные антенны. Чем меньше угол (сектор) обслуживания, тем меньше помех будет «собирать» такая антенна. Наиболее распространены антенны с шириной основного лепестка 60, 90 и 120 градусов с усилением от 17 до 13 дБ. Как правило, в вертикальной плоскости ширина лепестка составляет (6...8) градусов, то есть излучение распространяется вдоль горизонта. Чем меньше ширина главного лепестка антенны, тем больше ее усиление, обусловленное концентрацией излучаемой энергии. Слишком малый угол излучения в вертикальной плоскости может ограничить подключение клиентов вблизи от базовой станции, особенно если она расположена слишком высоко.

В проекте принято решение использовать антенну ADU451503 фирмы Huawei. Необходимо рассчитать угол наклона антенны для покрытия требуемой территории.

Рассчитаем механический угол наклона антенны:

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{h_1 - h_2}{r} \right) \quad (3.17)$$

где h_1 – высота подвеса базовой антенны, м;

h_2 – высота подвеса мобильной антенны, м;

r – расстояние (максимальная дальность связи), м.

Для проектируемого объекта высота подвеса антенны базовой станции составит $h_1 = 30$ м; высота подвеса мобильной антенны - $h_2 = 3$ м; радиус зоны радиопокрытия $r = 1,62$ км.

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{30 - 3}{1620} \right) = 1,03^\circ$$

Как показали вычисления, для того, чтобы главный лепесток «покрыл»

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

рассчитанную зону с радиусом 1,62 км, необходимо, чтобы механический угол наклона антенны был равен 1,03°.

3.6 Проектирование линейно-кабельной инфраструктуры

Для соединения базовых станций между собой и с ядром сети LTE будет использоваться волоконно-оптический кабель. Участок ВОЛС пгт. Шушенское – г. Абакан (ядро сети LTE), который относится к сети оператора ПАО «МТС», уже существует, поэтому в проекте будет рассмотрена только прокладка кабеля на территории посёлка. В местах, где отсутствует возможность прокладки в существующей телефонной кабельной канализации, кабель будет прокладываться в специальной защитной трубе.

В проекте рекомендуется использовать волоконно-оптический кабель для прокладки в трубах, коллекторах, телефонной кабельной канализации марки ОККЦ(н)-01-1х10-(2,7) производства компании «Москабель – Фуджикура» (Москва, Россия). Количество оптических волокон – 10, тип волокна – одномодовое. Кабель одномодульный, с защитными силовыми элементами из стальной проволоки, бронепокровом из стальной гофрированной ленты и внешней оболочкой из полиэтилена. [13]

ОККЦ (н)

ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ ДЛЯ ПРОКЛАДКИ В КАБЕЛЬНОЙ КАНАЛИЗАЦИИ



- Конструкция:**
- 1 Силовой элемент - стальная проволока.
 - 2 Оптическое волокно.
 - 3 Центральная трубка.
 - 4 Гидрофобный наполнитель.
 - 5 Водоблокирующий материал (водоблокирующие нити).
 - 6 Стальная гофрированная лента.
 - 7 Внешняя оболочка из полиэтилена

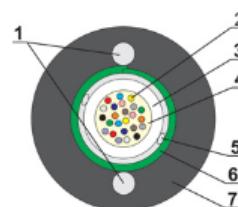


Рисунок 3.7 – Оптический кабель ОККЦ(н)

Максимальные длины сегментов ВОЛС между БС в посёлке не превышают 3 км, поэтому суммарное затухание в оптических линейных трактах

незначительно.

Проведём оценочный расчёт потерь на самом протяженном участке: БС ул. Пушкина – БС ул. Пионерская. Расстояние между рассматриваемыми БС составляет 2,3 км.

Суммарные потери a_{Σ} на участке сети рассчитываются по формуле:

$$a_{\Sigma} = n_{pc} \cdot a_{pc} + n_{nc} \cdot a_{nc} + a_t + a_v + l \cdot \alpha, \quad (3.18)$$

где n_{pc} – количество разъемных соединителей, $n_{pc} \approx 2$;

a_{pc} – потери в разъемных соединениях, $a_{pc} \approx 0,3$ дБ;

n_{nc} – количество неразъемных соединений;

a_{nc} – потери в неразъемных соединениях, $a_{nc} \approx 0,05$ дБ;

a_t – допуск на температурные изменения затухания оптического волокна, $a_t = 1$ дБ;

a_v – допуск на изменение характеристик компонентов на участке со временем, $a_v \approx 5$ дБ;

l – длина оптического линейного тракта (2,3 км);

α – затухание в оптическом волокне (0,22 дБ/км).

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

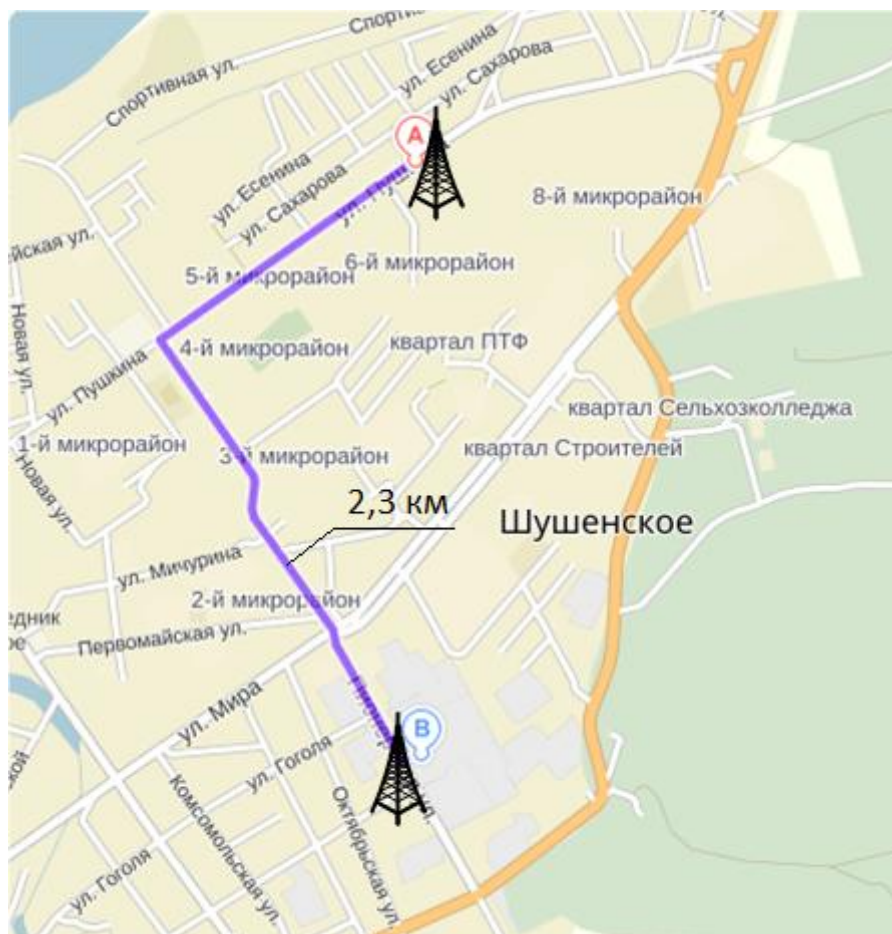


Рисунок 3.8 - Сегмент ВОЛС

Суммарные потери на самом протяженном участке волоконно-оптической сети составят:

$$a_{\Sigma} = 2 \cdot 0,3 + 1 + 5 + 2,3 \cdot 0,22 \approx 7,1 \text{ (дБ)}$$

Суммарное затухание на участке проектируемой сети между базовыми станциями составило 7,1 дБ, что является приемлемым.

3.7 Разработка схемы организации связи

Проектируемая сеть LTE пгт. Шушенское будет содержать 5 базовых станций, соединенных друг с другом. Для подключения БС к опорной транспортной сети принято решение использовать маршрутизатор базовых станций (Cell Site Router – CSR) с поддержкой соединения Ethernet 10 Гбит/с, предназначенный для работы в транспортной сети LTE. Компактный маршрутизатор ATN 950B позволяет увеличить пропускную способность с 1 до 10 Гбит/с в разных фазах LTE и в будущих стандартах. Глубина устройства составляет 300 мм, поэтому оно может монтироваться в одну стойку с базовой станцией eNodeB. ATN 950B также поддерживает стандарты кольцевой сети 10GE, L2VPN, L3VPN, H-QoS и позволяет гибко планировать разнообразные сервисы в комплексных сетях. Оборудование поддерживает работу с различными системами точной синхронизации, такими как ACR, синхронизированный Ethernet и IEEE1588v2.

Область сети радиодоступа логически разделена на два уровня: уровень радиосети (RNL, Radio Network Layer) и уровень транспортной сети (TNL, Transport Network Layer). Уровень радиосети реализуется непосредственно в пгт. Шушенское, а транспортная инфраструктура и ядро сети LTE размещено в г. Абакан.

В проектируемой сети радиодоступа базовые станции eNB имеют следующие характеристики:

- мощность каждого передатчика – 40 Вт;
- высота подвеса антенны – 30 метров;
- число приемопередатчиков TRX – 3 (по одному на каждый сектор);
- системная полоса для одного сектора – 20 МГц (10 МГц для линии «вверх» и 10 МГц для линии «вниз»);
- MIMO 2 x 2 для линии вниз и 1 x 2 – для линии вверх ;
- пропускная способность: линия «вниз» - 50,79 Мбит/с, линия «вверх» -

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

22,05 Мбит/с.

Проектируемая схема организации связи представлена на рисунке 3.9.

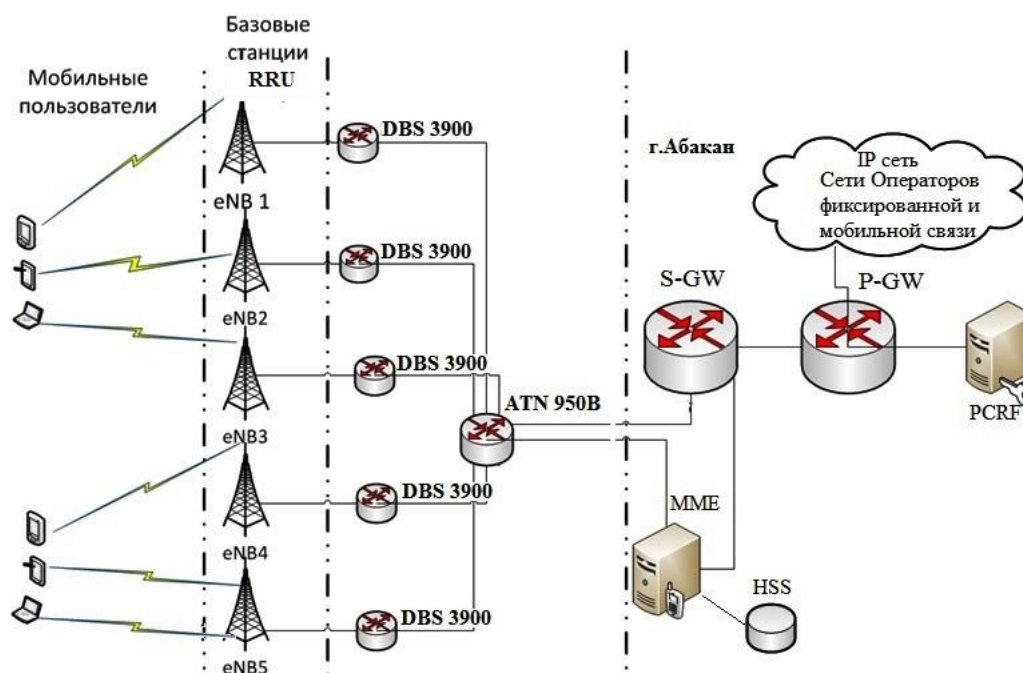


Рисунок 3.9 – Проектируемая схема организации связи

Всё оборудование, представленное на схеме, производства компании Huawei (Китай).

4 РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО РЕАЛИЗАЦИИ СЕТИ БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА В ПГТ ШУШЕНСКОЕ

4.1 Рекомендации по организации строительства

Все объекты вводятся в соответствии с календарным планом и очередностью строительства. Используется существующая в посёлке инфраструктура Оператора связи ПАО «МТС».

На территории пгт. Шушенское прокладка проектируемого кабеля предусмотрена в существующей кабельной канализации связи и в полиэтиленовой трубе диаметром 63,0 мм, проложенной в грунте. Схемы расположения кабеля в кабельной канализации, а также в полиэтиленовой трубе приведены в рабочих чертежах. Прокладка кабеля и опознавательной ленты в предварительно разработанную траншею производится последовательно с послойной засыпкой грунта. На концах строительных длин кабеля в местах монтажа муфт должен быть оставлен запас кабеля по 10м, который укладывается в котловане петлями и закрывается железобетонными плитами. В БС и УС должен быть оставлен запас оптического кабеля длиной 8 м витками диаметром 1,0-1,2 м. Витки скрепляются между собой в 3-х – 4х местах перевязочной стальной оцинкованной проволокой диаметром 1,0 – 2,0 мм и размещается на свободном месте с закреплением (на стене, перчаточном щите, колодце и т.п.). Заземление брони оптических кабелей запроектировано в соответствии с РД 45.155 – 2000 «Заземление и выравнивание потенциалов аппаратуры ВОЛП на объектах проводной связи». Принятые проектные решения обеспечивают безопасную эксплуатацию линейных сооружений при условии соблюдения вышеуказанных нормативных документов. Размещение базовых станций с соответствующими антеннами производится на существующих опорах-башнях. В качестве вновь сооружаемых опор запроектированы свободностоящие башни типа АМС-25. Опора-башня типа

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

АМС-25 представляет собой пространственную четырехгранную ферму с поясами и решеткой из угловых равнополочных прокатных профилей. Две верхние секции выполнены в виде правильной призмы со сторонами грани 1600 мм. Соединения всех элементов между собой выполнены на болтах.

Наземное оборудование базовых станций в тех местах, где нет приспособленных помещений (таких мест в проектируемой сети пгт. Шушенское два), размещается в термостатированных вандалоустойчивых шкафах, устанавливаемых в непосредственной близости от антенных опор.

Монтаж радиооборудования предполагает выполнение следующих работ:

- монтаж оборудования в аппаратной или термошкафу;
- монтаж антенн на опоре и оборудования внешней установки; прокладка и подключение кабелей от оборудования в аппаратной или термошкафу к передающим антеннам;
- прокладка кабеля электропитания оборудования; проведение юстировки антенн и пусконаладочных работ.

Оборудование, устанавливаемое на опорах, рекомендуется поднять на проектные отметки с помощью монтажных блоков, закрепленных к конструкциям опор, и лебедок, установленных на земле. Монтаж радиооборудования должен выполняться организацией, имеющей лицензию на выполнение строительно-монтажных работ объектов связи, телевидения и радиовещания в строгом соответствии с настоящей проектной документацией и СНиП 3.01.01-85 «Организация строительного производства». Сроки начала монтажа оборудования широкополосного радиодоступа должны быть увязаны со сроками поставки оборудования. Работы по монтажу оборудования широкополосного радиодоступа нужно производить после установки мачтовых опор, термошкафов, подведения к ним ВОЛС и монтажа оборудования передачи данных.

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4.2 Мероприятия по охране природной среды

При производстве строительно-монтажных работ необходимо осуществлять мероприятия по охране природной среды в строгом соответствии со СНиП 12-01-2004 «Организация строительства» с целью исключения разлива горюче-смазочных материалов, или загрязнения и порчи прилегающей территории. Предусмотренные в проекте кабельные изделия имеют необходимые сертификаты соответствия. Кабели и материалы, используемые при строительстве, не относятся к экологически опасным, в процессе эксплуатации не создают вредных электромагнитных излучений и не выделяют вредных химических веществ.

Базовые станции будут располагаться в специально отведённых местах. Экологически опасным фактором при функционировании объектов абонентского радиодоступа является электромагнитное излучение антенн базовой станции при работе в режиме передачи. Уровень допустимого излучения передающих антенн регламентируется СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03. Согласно указанному документу, допустимая для населения плотность потока мощности электромагнитного излучения в диапазоне частот 300 МГц – 300 ГГц, составляет $10 \text{ мкВт} / \text{см}^2$. Плотность потока мощности электромагнитного излучения определяется мощностью передатчика, коэффициентом усиления антенны, диаграммой направленности антенны и расстоянием от антенны. На площадках, где совместно размещаются несколько передающих антенн, согласно СанПиН, плотность потока мощности электромагнитного излучения, определяется как сумма плотностей потока мощности излучения всех радиоизлучающих источников, установленных на данной площадке.

Расчет границы зоны превышения предельно допустимого уровня электромагнитного излучения (ПДУ ЭМИ) антенн проводился в соответствии с Методическими указаниями МУК 4.3.1167 –02 «Определение плотности потока энергии электромагнитного поля в местах размещения радиосредств,

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

работающих в диапазоне частот 300 МГц – 300 ГГц» [23].

Формула для расчета плотности потока мощности электромагнитного излучения антенны:

$$\text{ППЭ} = E^2 / 3,77 \text{ мкВт/см}^2, \quad (4.1)$$

где E - значение электрической составляющей напряженности ЭМП в В/м.

По результатам расчета определялась граница зоны превышения ПДУ ЭМИ, в точках которой плотность потока мощности излучения имеет предельно допустимое для населения значение.

Как следует из рассчитанных данных, суммарная плотность потока мощности, излучаемой передающими антеннами базовой станции на высоте 2 м от поверхности земли на территории, прилегающей к месту ее размещения, не превышает допустимой величины. Граница зоны ограничения расположена на высоте 24,1 м от поверхности земли. Максимальное удаление границы зоны ограничения от центральной оси антенной опоры 2,9 м. Следовательно, в месте размещения базовой станции выполняются требования СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 по предельно допустимому уровню электромагнитного излучения передающих антенн. Установления санитарно-защитной зоны не требуется.

Проектируемая система широкополосного радиодоступа в процессе эксплуатации не оказывает вредного воздействия на атмосферный воздух, геологическую среду, почву, подземные, грунтовые и поверхностные воды. Отходов при технологическом процессе не образуется. Технические решения, принятые в рабочих чертежах, соответствуют требованиям экологических, санитарно-гигиенических, противопожарных и других норм, действующих на территории Российской Федерации, и обеспечивают безопасную для жизни и здоровья людей эксплуатацию объекта при соблюдении предусмотренных рабочими чертежами решений и мероприятий.

Реализация предусмотренных данным проектом решений не приведёт к

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

каким-либо отрицательным воздействиям на природную среду в период строительства и эксплуатации линейно-кабельных, станционных и гражданских сооружений объекта связи.

4.3 Мероприятия по охране труда и технике безопасности

Все работы по прокладке и монтажу кабелей должны выполняться в строгом соответствии с требованиями правил техники безопасности с обязательным присутствием представителей службы эксплуатации. Для соблюдения норм пожарной безопасности проектируемый оптический кабель, имеющий горючую полиэтиленовую оболочку, должен прокладываться по помещению в поливинилхлоридной трубке. До начала монтажных работ должны быть выполнены технические и организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работающих. Инструмент и защитные средства, применяемые при наладке оборудования, должны удовлетворять требованиям «Правил применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках». До начала работ по монтажу кабелей и установки металлоконструкций в помещение ввода кабелей должны быть обеспечены противопожарным оборудованием и первичными средствами пожаротушения.

При строительстве и эксплуатации необходимо выполнение мероприятий по профилактике неблагоприятного воздействия на человека электромагнитного излучения передающих антенн системы абонентского радиодоступа. Работа монтажников и обслуживающего персонала в местах превышения ПДУ ЭМИ передающих антенн должна проводиться с соблюдением требований Санитарных правил и норм «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03» определяющих, что предельно допустимое значение энергетической экспозиции для лиц, работа которых связана с необходимостью

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

пребывания в зонах влияния источников ЭМИ радиочастоты, за рабочий день (рабочую смену) в диапазоне частот 300МГц...300ГГц не должно превышать 200 (мкВт/см²)×ч. При этом максимальный уровень плотности потока мощности на рабочем месте не должен превышать 1000 мкВт/см². Современное оборудование и система управления предъявляет определённые требования к квалификации обслуживающего персонала, который перед допуском к работе должен пройти обучение и иметь соответствующий сертификат.

Опасным фактором проектируемых объектов сети радиодоступа в части техники безопасности является выполнение высотных работ на антенных опорах в непосредственной близости от работающих передающих антенн. При этом, в связи с наличием данных опасных факторов, необходимо соблюдать следующие мероприятия:

- перед началом работ необходимо оформить акт-допуск к работе на высоте;
- на границе зон, постоянно действующих опасных производственных факторов, должны быть установлены предохранительные защитные ограждения, а на границе зон потенциально опасных производственных факторов - сигнальные ограждения и знаки безопасности;
- производство работ на опоре при силе ветра превышающей шесть баллов (скорость ветра 9,9-12,4 м/с) запрещается.

Принятые проектные решения обеспечивают безопасную эксплуатацию линейных, станционных сооружений при условии соблюдения вышеуказанных нормативных документов. Принятые технические решения соответствуют требованиям экологических, противопожарных и других норм, действующих на территории Российской Федерации, и обеспечивают безопасную для жизни и здоровья людей эксплуатацию объектов при соблюдении предусмотренных проектом мероприятий. Технология ведения радиотелефонной связи не предполагает хранения, обращения, содержания под давлением и использования взрывчатых, легко воспламеняемых, ядовитых радиоактивных,

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

химических, биологически опасных веществ и материалов, могущих создать реальную угрозу возникновения чрезвычайной ситуации.

4.4 Обеспечение электропитания

Проектируемые объекты сети радиодоступа, на которых размещаются базовые станции, относятся к объектам связи без постоянного присутствия обслуживающего персонала (т.е. является необслуживаемой в процессе ее функционирования). В соответствии с полученными от энергоснабжающей организации «Техническими условиями», основным источником электроснабжения для устанавливаемого оборудования базовых станций сети радиодоступа является государственная электрическая сеть с параметрами качества электрической энергии по ГОСТ 13109-94. Категория надежности электроснабжения в соответствии с классификацией по п. 1.2.18 ПУЭ - третья. Указанная выше надежность источников электросети признана достаточной на данном этапе ее развития и дополнительных источников электроснабжения проектом не предусматривается в силу их значительной стоимости. Бесперебойная работа оборудования при пропадании напряжения внешней сети осуществляется в течение не менее 4 час. При проектировании выполнены все требования нормативных документов России для защиты от воздействия природных источников чрезвычайных ситуаций.

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА

5.1 Оценка капитальных вложений в проект

К капитальным вложениям на реализацию сети широкополосного доступа в пгт. Шушенское относятся все затраты, вносимые на первоначальном этапе строительства сети, и имеющие единовременный характер. Инвестиции в оборудование по проекту и на ввод оборудования в эксплуатацию будут включать следующие составляющие:

1. стоимость оборудования сети LTE;
2. затраты на установку и монтаж оборудования;
3. стоимость кабеля для соединения базовых станций;
4. транспортные расходы (тара и упаковка, таможенные расходы);
5. прочие затраты (техническая документация, обучение специалистов, страховка);
6. прочие непредвиденные расходы.

Общие капитальные вложения на приобретение оборудования сети широкополосного доступа в пгт. Шушенское рассчитываются по формуле:

$$K_{об} = \sum_{i=1}^N K_i, \text{ руб} \quad (5.1)$$

где $K_{об}$ – суммарный объем затрат на приобретение оборудования, руб;

K_i – общая стоимость одной позиции (типа оборудования);

N – количество позиций.

Оценка инвестиций на приобретение оборудования и строительство сети зависит от стратегии Оператора связи – ПАО «МТС». В Красноярском крае Оператор применяет долгосрочную стратегию присутствия на телекоммуникационном рынке, следовательно, при небольшом количестве

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

абонентов и высокой стоимости современного высокотехнологичного оборудования LTE ожидаемая рентабельность будет невысокой. Тем не менее, Оператор обеспечит себе конкурентные преимущества и сможет наращивать монтируемую ёмкость сети в дальнейшем, подключая соседние населенные пункты, получая стабильную прибыль и улучшая качество жизни в регионе.

Стоимость оборудования приведена ориентировочно, цены зависят от многих факторов: условий, объемов и сроков поставки оборудования, его комплектации, а также наличия долгосрочных договоров. В Красноярском крае ПАО «МТС» уже применяет оборудование компании Huawei Technologies, ядро сети LTE расположено в г. Абакан, кроме того, в проекте будут использоваться существующие антенно-мачтовые сооружения, поэтому в смету затрат войдут только расходы на базовые станции, коммутаторы, маршрутизатор и оптические кабели для организации связи в пгт. Шушенское.

Смета затрат на приобретение оборудования представлена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Смета затрат на приобретение оборудования сети радиодоступа LTE в пгт. Шушенское

№ п/п	Наименование	Кол -во	Цена за шт.	Цена (руб.)
1	2	3	4	5
1	Сеть радиодоступа стандарта LTE (E-UTRAN)			3 375 930
1. 1	Базовая станция Huawei DBS3900 LTE (e-NodeB)*	5	750 000	2 250 000
1. 2	Антенно-фидерные устройства:			
	Антенна базовой станции (секторная)	15	37623	564 345
1.3	Вспомогательное оборудование:			
	Элементы питания	5	19717	98 585
	Оптическая кабельная сборка DLC/PC, 50м	15	1 000	15 000
	Джампер 7/16-7/16 F4A-PDMDM-2M	30	2 500	75 000
	Кабель заземления ПВ3 1х16 мм ² , м	500	71	35 500
	Кабель питания ВВГнг 3х2,5 мм ² , м	500	33	16 500
	Кабель питания ВВГнг 2х6 мм ² , м	1000	56	56 000
	Гофра Outdoor ПНД (черный цвет) d=20 мм, м	1500	10	15 000
	Монтажный материал	5	50 000	250 000

Окончание таблицы 5.1

1	2	3	4	5
2	Оборудование транспортной сети			1 785 072
	Маршрутизатор HUAWEI ATN 950B Standard Configuration	1	814282	814282
	Коммутатор Huawei S3700-28TP-EI-24S-AC	5	194 158	970 790
3	Линейно-кабельные сооружения			294 000
	Кабель оптический ОККЦ(н)-01-1х10-(2,7), км	8,4	35 000	294 000
ИТОГО			5 455 002	

Примечание* В состав оборудования базовой станции сети подвижной связи стандарта LTE входят:

- базовый блок BBU 3900 LTE («Huawei Technologies Co., Ltd», Китай);
- три радиомодуля RRU 3268 (2600) («Huawei Technologies Co., Ltd», Китай);
- панель распределения питания DCDU-03 («Huawei Technologies Co., Ltd», Китай);
- Инструкция по доступу (поставляется электронно).

В стоимость базовой сети не включены оборудование доступа в сети TCP/IP (NAU) и пограничный шлюз (BG) в состав которых входят DNS и DHCP сервер, LAN Switch, Firewall и т.д. Данные элементы являются дополнительными, и они уже установлены в г. Абакан. Кроме того, не учтены затраты на лицензии на использование частот, т.к. ПАО «МТС» уже их имеет для предоставления связи на территории Красноярского края, а проектируемая сеть является «расширением» данной инфраструктуры.

Как показывает смета затрат, ориентировочная стоимость необходимого оборудования для сети стандарта LTE составит 5455002 рублей. Ориентировочная стоимость монтажных работ составит 1091000 рублей, с учетом использования существующих арендуемых для сети GSM ПАО «Мобильные ТелеСистемы» антенно-мачтовых сооружений и помещений для размещения сетевого оборудования.

При приобретении оборудования учитываются расходы: $K_{пр}$ – Затраты на приобретение оборудования; $K_{тр}$ – транспортные расходы в т.ч. таможенные расходы (4% от $K_{пр}$); $K_{смр}$ – строительно-монтажные расходы (20% от $K_{пр}$); $K_{ту}$ – расходы на тару и упаковку (0,5% от $K_{пр}$); $K_{зср}$ – заготовительно-складские

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						63
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

расходы (1,2% от $K_{пр}$); $K_{пнр}$ – прочие непредвиденные расходы (3% от $K_{пр}$).

Затраты на строительство линейно-кабельных сооружений будут включать стоимость волоконно-оптического кабеля, прокладываемого между базовыми станциями, и монтажные работы.

Цена кабеля ОККЦ(н)-01-1х10-(2,7) составляет 35 руб/м, всего кабеля, с учетом эксплуатационного запаса, требуется 8,4 км, таким образом, стоимость кабеля 294 000 руб. [18]

В среднем, стоимость прокладки 1 км волоконно-оптического кабеля связи в кабельной канализации обходится от 40 до 50 тыс. рублей, в зависимости от состояния кабельных каналов. [19]

Общие затраты на прокладку кабеля составят:

$$K_{каб} = L \times Y, \quad (5.2)$$

где L – длина трассы прокладки кабеля; Y – стоимость 1 км прокладки кабеля.

$$K_{каб} = 8,4 \times 40000 = 336\,000 \text{ руб.}$$

Таким образом, общие капитальные вложения рассчитываются как:

$$KB = (K_{пр} + K_{тр} + K_{смп} + K_{т/у} + K_{зср} + K_{пнр}) + K_{каб}, \text{ руб} \quad (5.3)$$

$$KB_{LTE} = (5455002 + 5455002 \times (0,04 + 0,2 + 0,005 + 0,012 + 0,03)) + 336000 = 7356587,6 \text{ руб.}$$

Для расчета требуемых инвестиций в проект нужно учесть текущий курс валют, возможность скидки и т.п., поэтому стоимость оборудования и линейно-кабельных сооружений взята ориентировочно, по сведениям из указанных Интернет-ресурсов [16, 17, 18].

5.2 Калькуляция эксплуатационных расходов

Для расчета годового фонда заработной платы необходимо определить численность штата производственного персонала. Для обеспечения непрерывной работы сети необходимое количество специалистов и обслуживающего персонала составляет один человек (ведущий инженер), т.к. проектируемая сеть является сегментом сети LTE Оператора ПАО «МТС» в Красноярском крае.

Таблица 5.2 Численность штата

Наименование должности	Оклад	Количество, чел.	Сумма з/п, руб.
Ведущий инженер	35 000	1	35 000

Годовой фонд оплаты труда составит:

$$\text{ФОТ} = \sum_{i=1}^K (T * P_i * I_i) * 12, \text{руб.} \quad (5.4)$$

где I_i – количество работников каждой категории; P_i – заработная плата работника каждой категории, руб; 12 – количество месяцев; T – коэффициент премии (если премии не предусмотрены, то $T=1$).

$$\text{ФОТ} = (35000) \times 12 = 420000 \text{ руб.}$$

Расчет сделан без учета повышающей ставки для лиц, работающих в районах, приравненных к Крайнему Северу, т.к. эта ставка индивидуальна и зависит от трудового стажа.

Каждое предприятие обязано выплачивать страховые взносы за сотрудников. На сегодняшний день (2016 год) этот показатель составляет порядка 30% от заработной платы.

$$CB = 0,3 \times \Phi OT \quad (5.5)$$

$$CB = 0,3 \times 420000 = 126000 \text{ руб.}$$

Под амортизацией понимается процесс постепенного возмещения стоимости основных фондов, переносимой на вновь созданную продукцию (услугу), в целях накопления средств, для реконструкции и приобретения основных средств.

Рассчитаем амортизационные отчисления на полное восстановление производственных фондов:

$$AO = T/F, \quad (5.6)$$

где Т – стоимость оборудования, F – срок службы оборудования.

Срок службы оборудования, согласно действующего до сих пор постановления Совмина СССР «О единых нормах амортизационных отчислений на полное восстановление основных фондов народного хозяйства СССР», для коммутационного оборудования связи составляет 5,6 лет.

Следовательно, амортизационные отчисления равны:

$$AO = 5161002/5,6 = 921607,5 \text{ руб.}$$

Затраты на оплату электроэнергии определяются в зависимости от ставки (тарифа), принятого в Красноярском крае для юридических лиц [20], а также с учетом мощности оборудования базовых станций:

$$З_{ЭН} = T \times 24 \times 365 \times P \quad (5.7)$$

где Т = 5,92 руб./кВт. час – тариф на электроэнергию в Красноярском крае [20].

Р - мощность БС.

Мощность БС равна 1,26 кВт, тогда $P=2,52$ кВт.

Тогда, затраты на электроэнергию составят:

$$З_{ЭН} = 5,92 \times 24 \times 365 \times 2,52 = 130685,18 \text{ руб.}$$

г) затраты на материалы и запасные части составляют 3,5% от основных производственных фондов:

$$З_{МЗ} = KB \times 0,035, \quad (5.8)$$

где KB - это капитальные вложения.

В итоге материальные затраты составляют:

$$З_{МЗ} = 7356587,6 \times 0,035 = 257480,57 \text{ руб.}$$

Таким образом, общие материальные затраты равны

$$З_{ОБЩ} = З_{ЭН} + З_{МЗ} = 130685,18 + 257480,57 = 388165,75 \text{ руб.}$$

Прочие расходы состоят из общих производственных ($З_{пр.}$) и эксплуатационно-хозяйственных затрат ($З_{эк.}$):

$$З_{пр} = 0,15 * \text{ФОТ} \quad (5.9)$$

$$З_{эк} = 0,25 * \text{ФОТ} \quad (5.10)$$

Подставив значения, получаем:

$$З_{пр} = 0,15 \times 420000 = 63000 \text{ руб.}$$

$$З_{эк} = 0,25 \times 420000 = 105000 \text{ руб.}$$

Таким образом, прочие расходы составят:

$$З_{прочие} = 168000 \text{ руб.}$$

Результаты расчета годовых эксплуатационных расходов приведены в таблице 5.3.

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 5.3 – Годовые эксплуатационные расходы

Наименование затрат	Сумма затрат, руб.	Удельный вес статей, %
1. ФОТ	420000	21
2. Страховые взносы	126000	6
3. Амортизационные отчисления	921607,5	46
4. Материальные затраты	388165,75	19
5. Прочие расходы	168000	8
ИТОГО	2023773,25	100

5.3 Калькуляция доходов

При выборе размера абонентской платы и стоимости оплаты за подключение учтены рекомендуемые ПАО «МТС» тарифы. Услуги уровня 4G предоставляет только этот Оператор связи, следовательно, он будет обладать высокими конкурентными преимуществами. Принято решение, что для расчета дохода в первый год услугами сети будут пользоваться 50% абонентов поселка (всего абонентов 3300, из них физических лиц 3000, юридических лиц - 300). На второй и третий год рост абонентской емкости составит по 20%, 4-й год – 10%. Планируемый прогноз подключения отражен в таблице 5.4. Общее количество абонентов – 3300.

Таблица 5.4 – Количество подключаемых абонентов в определенный период времени (год)

Год	Абоненты – физические лица	Абоненты – Юридические лица	Общее количество подключаемых абонентов
1	1500	150	1650 (50% от общего - 3300)
2	600	60	660 (40% от оставшихся 1650)
3	600	60	660 (67% от оставшихся 990)
4	300	30	330 (100% от оставшихся 330)

Таблица 5.5 – Тарифы для абонентов (согласно действующим тарифным планам ПАО «Мобильные ТелеСистемы в Красноярском крае») [21]

Наименование предоставляемых услуг	Стоимость, руб.
Доступ к сети Интернет	
Юридические лица	1000
Физические лица	400

Тарифные планы: для юридических лиц – «Бизнес без границ», для физических лиц – «МТС Коннект».

Годовой доход за предоставление абонентам доступа к различным услугам рассчитывается как:

$$D_{год} = \sum_{i=1}^J N_i * B_i * 12, \quad (5.11)$$

где N – размер абонентской платы за конкретный вид услуги в месяц; B – количество абонентов, пользующихся конкретной услугой.

Таблица 5.6 – Доходы предоставления услуг по годам

Год	Количество абонентов		Доход, руб.
	Физические лица	Юридические лица	
1	1500	150	9 000 000
2	2100	210	12 600 000
3	2700	270	16 200 000
4	3000	300	18 000 000
5	3000	300	18 000 000

5.4 Определение оценочных показателей проекта

Расчет чистого денежного дохода (NPV) основан на сопоставлении величины исходных инвестиций (IC) с общей суммой дисконтированных

чистых денежных поступлений (PV) за весь расчетный период. Иными словами, этот показатель представляет собой разность дисконтированных показателей доходов и инвестиций, рассчитывается по формуле:

$$NPV = PV - IC \quad (5.12)$$

где PV – денежный доход, рассчитываемый по формуле (5.13);

IC – отток денежных средств в начале n-го периода, рассчитываемый по формуле (5.14).

$$PV = \sum_{n=1}^T \frac{P_n}{(1+i)^n} \quad (5.13)$$

где P_n – доход, полученный в n-ом году;

i – норма дисконта 12%;

T – количество лет, для которых производится расчет.

$$IC = \sum_{n=1}^m \frac{I_n}{(1+i)^{n-1}} \quad (5.14)$$

где I_n – инвестиции в n-ом году;

i – норма дисконта 12%;

m – количество лет, в которых производятся выплаты.

Ежегодные затраты будут складываться из ежегодной платы за использование радиочастотного спектра для работы сети LTE в размере 3500000 руб и годовых эксплуатационных расходов 2023773 руб, т.е. 5523773 руб.

Результаты расчетов приведены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Оценка экономических показателей проекта с учетом дисконта

Год	P, тыс. руб.	PV, тыс. руб.	I, тыс. руб.	IC, тыс. руб.	NPV, тыс. руб.
0	0,00	0,00	7478,775	7478,775	-7478,775
1	9 000	7200	2023,773	8484,418	-1284,418
2	21600	14400	2023,773	10508,191	3891,809

Как видно из приведенных в таблице 5.7 рассчитанных значений, проект окупится на втором году эксплуатации.

Точный срок окупаемости можно рассчитать по формуле:

$$PP = T + |NPV_{n-1}| / (|NPV_{n-1}| + NPV_n) \quad (5.15)$$

где T – значение периода, когда чистый денежный доход меняет знак с "-" на "+",

NPV_n – положительный чистый денежный доход в n году,

NPV_{n-1} – отрицательный чистый денежный доход по модулю в n-1 году.

Срок окупаемости составит:

$$PP = 2 + 1284,418 / (1284,418 + 3891,809) = 2,25 = 2 \text{ год и 3 месяцев}$$

Индекс рентабельности представляет собой относительный показатель, характеризующий отношение приведенных доходов приведенным на ту же дату инвестиционным расходам и рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{n=1}^T \frac{P_n}{(1+i)^n} / \sum_{n=1}^m \frac{I_n}{(1+i)^{n-1}} \quad (5.16)$$

где PV – денежный доход, рассчитываемый по формуле (5.13), IC – поток инвестиций, рассчитываемый по формуле (5.14).

На срок расчетного периода – 2 года, индекс рентабельности будет равен:

$$PI = 14400 / 10508,191 = 1,37 = 37\%$$

Внутренняя норма доходности (IRR) – норма прибыли, порожденная инвестицией. Это та норма прибыли, при которой чистая текущая стоимость инвестиции равна нулю, или это та ставка дисконта, при которой дисконтированные доходы от проекта равны инвестиционным затратам.

Экономический смысл показателя IRR заключается в том, что предприятие может принимать любые решения инвестиционного характера, уровень рентабельности которых не ниже цены капитала. Чем выше IRR, тем больше возможностей у предприятия в выборе источника финансирования. Иными словами, что он показывает ожидаемую норму доходности (рентабельность инвестиций) или максимально допустимый уровень инвестиционных затрат в оцениваемый проект. IRR должен быть выше средневзвешенной цены инвестиционных ресурсов:

$$IRR > i \quad (5.17)$$

где i – ставка дисконтирования

Расчет показателя IRR осуществляется путем последовательных итераций. В этом случае выбираются такие значения нормы дисконта i_1 и i_2 , чтобы в их интервале функция NPV меняла свое значение с «+» на «-», или наоборот.

Далее по формуле делается расчет внутренней нормы доходности:

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} (i_2 - i_1) \quad (5.18)$$

где i_1 – значение табулированного коэффициента дисконтирования, при котором $NPV > 0$;

i_2 – значение табулированного коэффициента дисконтирования, при котором $NPV < 0$.

Для расчётов $i_2=195\%$, при таком значении коэффициента дисконтирования $NPV<0$, и принимает значение $NPV1= 3891,809\text{руб.}$, $NPV2=-108,191$

$$IRR = 12 + (3891,809 / (3891,809 + 108,191)) \times (50 - 12) = 48,97$$

Таким образом, внутренняя норма доходности проекта составляет 48,97%, что больше цены капитала, которая рассматривается в качестве 48,97%.

Такие высокие показатели обусловлены невысокой величиной капитальных вложений, т.к. в расчетах не учтены затраты на уже существующее оборудование уровня ядра и шлюзы. Кроме того, взят довольно высокий процент проникновения услуги, в реальной ситуации количество абонентов может быть меньше, соответственно, сеть будет окупаться, возможно, дольше.

Основные технико-экономические показатели приведены в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Техничко-экономические показатели

Наименование показателей	Значение
1. Количество абонентов, человек	3300
2. Капитальные вложения, руб.	7 356 587,6
3. Численность персонала, человек	1
4. Годовые эксплуатационные расходы, руб.:	5 523 773
4.1 Фонд оплаты труда, руб.	420000
4.2 Страховые взносы, руб.	126000
4.3 Амортизационные отчисления, руб.	921607,5
4.4 Материальные затраты, руб.	388165,75
4.5 Прочие расходы, руб.	168000
4.6 Ежегодные отчисления на оплату лицензии на частоты	3500000
6. Внутренняя норма доходности (IRR)	48,97%.
7. Индекс рентабельности (PI)	37%
8. Срок окупаемости	2 год и 3 месяцев

Сеть LTE, разработанная в проекте, начнет приносить прибыль оператору связи на втором году эксплуатации.

Особенностью проектов беспроводных сетей является то, что в реальных условиях при размещении базовых станций, выборе оборудования, проектировщик сталкивается с факторами, которые сложно учитывать. Также цены на оборудование предоставляются поставщиком при условии заказа, поэтому, экономическое обоснование, представленное в выпускной работе, носит информативный характер и может отличаться от реальных затрат Оператора в большую или меньшую сторону. Несмотря на данные допущения, проектные решения, предложенные в работе, и рекомендации носят практико-ориентированный характер и могут быть использованы для построения сети LTE в пгт. Шушенское Красноярского края.

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						74
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современных условиях развития инфокоммуникационных технологий не всегда оказывается выгодным для Оператора связи внедрение проектов сложных и дорогих, с точки зрения капитальных вложений и дальнейшей эксплуатации, решений. Особенно это касается инфокоммуникационной инфраструктуры небольших по численности жителей поселений, таких, как пгт. Шушенское Красноярского края. Тем не менее, связь является стратегической отраслью, и обеспечение абонентов современными инфокоммуникационными услугами является задачей государственной важности. Так, в рассматриваемом посёлке, большой вклад в благосостояние населения вносит туристический и гостиничный бизнес, рост притока туристов благоприятно воздействует на развитие региона в целом, поэтому задача обеспечения населения и туристов современными мобильными сервисами является особенно актуальной, и проектные решения будут востребованы. Кроме того, расширение зоны присутствия укрепит позиции Оператора связи ПАО «МТС» в регионе. Принятое решение внедрения технологии LTE, таким образом, является обоснованным и дальновидным. На основе расчета зон радиопокрытия и объёма нагрузки на базовую станцию были сформулированы требования, предъявляемые к сетевой инфраструктуре, телекоммуникационному оборудованию, а также рассчитано количество базовых станций – 5, и выбрано оборудование для транспортного сегмента сети.

Проектируемая сеть пгт. Шушенское включает сетевые элементы – шлюзы и базовые станции, а также интерфейсы выхода к внешним сетям, в том числе на базовую сеть в г. Абакан, а оттуда – к ядру сети МТС в г. Красноярск. С учетом того, что между перечисленными населенными пунктами уже имеется сетевая транспортная инфраструктура на основе волоконно-оптических линий связи, в проекте разработаны решения по организации беспроводного широкополосного доступа, в том числе рекомендации по размещению оборудо-

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						75
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

вания и построению линейно-кабельных сооружений. При этом опорная сеть GPRS, ядро пакетной обработки, шлюзы к сетям ССОП, IP, Интернет, узлы управления мобильностью будут находиться в г. Абакан, а требуемое количество базовых станций – непосредственно в пгт. Шушенское. Оператор связи ПАО «МТС» в Красноярском крае реализует сети стандарта LTE на базе оборудования компании Huawei Technologies (Китай), поэтому для реализации сети в данном проекте также выбирается оборудование этой компании. Принято решение использовать платформу LTE компании Huawei, включающее мультимедийную базовую станцию DBS3900 и оборудование опорной сети Evolved Packet Core. Быстродействие загрузки информации в клиентские устройства абонентов в диапазоне частот 2,6 ГГц при ширине канала 10 МГц с использованием технологии MIMO 2x2, превышает 70 Мбит/с. Выбраны антенны ADU451503 фирмы Huawei с двойной кроссполаризацией. Использование таких антенн позволит сэкономить место, которое антенна занимает на мачте.

Главная задача транспортной сети – обеспечение требуемой полосы пропускания и сопряжение с внешними сетями для доступа к источникам контента. Для взаимодействия проектируемой сети с остальными сегментами LTE, а также для сопряжения с частями сотовой инфраструктуры 3G, используется IP-протокол. Для подключения БС к опорной транспортной сети принято решение использовать маршрутизатор базовых станций (Cell Site Router – CSR) с поддержкой соединения Ethernet 10 Гбит/с, предназначенный для работы в транспортной сети LTE. Компактный маршрутизатор ATN 950В позволяет увеличить пропускную способность с 1 до 10 Гбит/с в разных фазах LTE и в будущих стандартах. При проектировании мест размещения базовых станций в пгт. Шушенское определен бюджет радиолинии наряду с детальным покрытием и вместимостью. Кроме того, учтены потенциальные места размещения базовых станций – как показал анализ объекта проектирования, оборудование базовых станций целесообразно устанавливать на существующих антенно-мачтовых сооружениях для экономии капитальных вложений. Одна из базовых станций бу-

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						76
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

дет размещена в зоне, охватывающей музей-заповедник и национальный парк «Шушенский бор» для обеспечения широкополосным радиодоступом абонентов – туристов, приезжающих в регион. Это положительно скажется на востребованности туристических услуг, и повысит показатели экономического благосостояния района. Таким образом, требуемые характеристики системы радиосвязи стандарта LTE достигаются, если радиус соты не превышает 1,62 км, а площадь радиопокрытия – 5,11 км. Как показал расчет параметров зоны радиопокрытия, одна базовая станция обеспечивает устойчивым радиообменом с абонентскими станциями территорию площадью 5,11 км, вместе с тем, для требуемой широкополосности в системе необходимо установить 5 базовых станций, с трехсекторными антеннами. В районе с высокой концентрацией абонентов (вдоль центральной улицы посёлка – ул. Крупской, между улицами Грибоедова и Береговой), расстояние между базовыми станциями будет меньше, чем в северо-восточном секторе посёлка, здесь будут установлены 2 БС. Ещё одна БС будет покрывать территорию не только посёлка, но и части музейного комплекса, с гостиницами и туристической инфраструктурой (здание почтового отделения, ул. Ленина, дом 66). Ещё две БС будут расположены в почтовых отделениях, по ул. Пионерская и ул. Полукольева (угол с ул. Пушкина).

Для соединения базовых станций между собой и с ядром сети LTE решено использовать волоконно-оптический кабель. Участок ВОЛС пгт. Шушенское – г. Абакан (ядро сети LTE), который относится к сети оператора ПАО «МТС», уже существует, поэтому в проекте рассмотрена только прокладка кабеля на территории посёлка. В местах, где отсутствует возможность прокладки в существующей телефонной кабельной канализации, кабель решено прокладывать в специальной защитной трубе. В проекте рекомендуется использовать волоконно-оптический кабель для прокладки в трубах, коллекторах, телефонной кабельной канализации марки ОККЦ(н)-01-1х10-(2,7) производства компании «Москабель – Фуджикура» (Москва, Россия). Суммарное затухание на участке

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						77
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

проектируемой сети между базовыми станциями составило 7,1 дБ, что является приемлемым.

Были рассчитаны зона ограничения застройки и санитарно-защитная зона. Как показал расчет, суммарная плотность потока мощности, излучаемой передающими антеннами базовой станции на высоте 2 м от поверхности земли на территории, прилегающей к месту ее размещения, не превышает допустимой величины. Граница зоны ограничения расположена на высоте 24,1 м от поверхности земли. Максимальное удаление границы зоны ограничения от центральной оси антенной опоры 2,9 м. Следовательно, в месте размещения базовой станции выполняются требования СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 по предельно допустимому уровню электромагнитного излучения передающих антенн. Установления санитарно-защитной зоны не требуется. Проектируемая система широкополосного радиодоступа в процессе эксплуатации не оказывает вредного воздействия на атмосферный воздух, геологическую среду, почву, подземные, грунтовые и поверхностные воды. Принятые проектные решения обеспечивают безопасную эксплуатацию линейных, станционных сооружений при условии соблюдения нормативных документов. Принятые технические решения соответствуют требованиям экологических, противопожарных и других норм, действующих на территории Российской Федерации, и обеспечивают безопасную для жизни и здоровья людей эксплуатацию объектов при соблюдении предусмотренных проектом мероприятий.

Для оценки рентабельности проекта были рассчитаны технико-экономические показатели. Капитальные вложения в проект составляют 7 млн. 356 тыс. 588 рублей. При этом ежегодные эксплуатационные расходы составляют 5523773 рублей. При условии поэтапного подключения 3300 абонентов срок окупаемости составит 2 год и 3 месяца.

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						78
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шушенское: Материал из Википедии – свободной энциклопедии [Электронный ресурс]/ Режим доступа <https://ru.wikipedia.org/wiki/Шушенское> (дата обращения 18.03.2016г)
2. Комплексная программа социально-экономического развития муниципального образования «Шушенский район» на период до 2020 года [Электронный ресурс]/ Режим доступа <http://www.arshush.ru/content/view/288/36/> (дата обращения 18.03.2016г)
3. Официальный сайт муниципального образования Шушенское [Электронный ресурс]/ Режим доступа <http://шушенское.org/> (дата обращения 18.03.2016г)
4. МТС в Красноярском крае - Красноярский край - "МТС-Сибирь" [Электронный ресурс]/ Режим доступа <http://www.mforum.ru/068732.htm> (дата обращения 20.03.2016г)
5. МТС Красноярский край [Электронный ресурс]/ Режим доступа <http://www.company.kras.mts.ru/> (дата обращения 20.03.2016г)
6. Оборудование для 4G/LTE сети. Базовые станции и абонентские устройства LTE. Обзор [Электронный ресурс]/ <http://wimax.livebusiness.ru/> - Новости мобильных технологий для бизнеса// URL: http://wimax.livebusiness.ru/tags/LTE_oborudovanie/ (дата обращения 21.03.2016г)
7. Широкополосный доступ eLTE: Решения широкополосного беспроводного доступа Huawei [Электронный ресурс]/ <http://e.huawei.com/> - сайт компании Huawei // URL: <http://e.huawei.com/ru/products/wireless/elte-access> (дата обращения 25.03.2016г)
8. Распределенная базовая станция DBS3900 [Электронный ресурс]/ Сайт компании Huawei // URL: <http://e.huawei.com/kz/products/wireless/elte-access/network-element/dbs3900> (дата обращения 25.03.2016г)
9. Соколов, Н. Оценка параметров зоны обслуживания сети LTE

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						79
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

[Электронный ресурс]/ Omoled.ru - Образовательные сообщества // URL: <http://omoled.ru/publications/view/715> (дата обращения 01.01.2016г)

10. Кукса Е. А. Моделирование дальности действия и пропускной способности базовой станции мобильных сетей LTE // Молодой ученый. — 2011. — №8. Т.1. — С. 68-73 [Электронный ресурс]// Режим доступа: <http://www.moluch.ru/archive/31/3562> (дата обращения 31.03.2016г)

11. Бабков, В.Ю. Подходы к планированию и оптимизации сетей LTE. – Санкт-Петербург, 2014г

12. Антенны ADU451503 [Электронный ресурс]// <http://www.huawei.com> – сайт компании Huawei / URL: <http://www.huawei.com/ru/products/radio-access/antenna/antenna/> (дата обращения 10.04.2016г)

13. Кабель оптический городской ОККЦ (н) [Электронный ресурс]// <http://www.mkf.mkm.ru/okstc> (дата обращения 12.04.2016г)

14. Коммутаторы Huawei Quidway S3700 [Электронный ресурс]// <http://www.huawei.com> – сайт компании Huawei / URL: <http://ct-company.ru/catalog/huawei/kommutatory-serii-campus-switch/kommutatory-s3700-series-1/S3700-28TP-EI-24S-AC.html> (дата обращения 15.05.2016г)

15. Маршрутизатор Huawei ATN 950B [Электронный ресурс]// <http://www.huawei.com> – сайт компании Huawei / URL: http://www.huawei-networks.ru/catalog/marshrutizator_huawei_atn_950b (дата обращения 16.04.2016г)

16. «CT-company»: Сетевое оборудование: HP, Cisco Systems, Juniper, Extreme Networks, Huawei Enterprise [Электронный ресурс]// Режим доступа: <http://ct-company.ru> (дата обращения 17.04.2016г)

17. Маршрутизатор Huawei ATN 950B (каталог и прайс) [Электронный ресурс]// <http://www.cleverkey.ru/> - Компания CleverKey// URL: <http://www.cleverkey.ru/catalog/marshrutizatory-huawei-atn-950b> (дата обращения 17.04.2016г)

18. ОККЦ: Прайс на кабельную продукцию [Электронный ресурс]//

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						80
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Режим доступа: <http://moscow-cable.ru/catalog/34697/okkts/> (дата обращения 20.04.2016г)

19. Услуги по прокладке и монтажу волоконно-оптического кабеля в кабельной канализации. Базовые тарифы на отдельные виды работ ООО "Электросвязь" на 2016г. [Электронный ресурс]// Режим доступа: <http://video-fon.com/uslugi/stroitelstvo-vols/prokladka-vols-v-kabelnoj-kanalizacii> (дата обращения 22.04.2016г)

20. Цены (тарифы) на электрическую энергию публичного акционерного общества «Красноярскэнергосбыт» (г. Красноярск, Приложение к приказу Региональной энергетической комиссии Красноярского края от 31.03.2015 № 39-п) [Электронный ресурс]// Режим доступа: http://krsk-sbit.ru/router.php?doc=home_tarif (дата обращения 23.04.2016г)

21. Тарифы на услуги связи/ Красноярский край [Электронный ресурс]// Режим доступа: <http://krasnoyarsk.rt.ru/shushenskoe> (дата обращения 25.04.2016г)

22. Официальная страница "LTE Форума" на MForum.ru. Основные сведения и материалы [Электронный ресурс]// Режим доступа: <http://www.mforum.ru/t4/forum/vcdtrh> (дата обращения 18.03.2016г)

23. Методические указания МУК 4.3.1167 –02 «Определение плотности потока энергии электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 300 МГц – 300 ГГц» [Электронный ресурс]// <http://docs.cntd.ru/> - Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации/ URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200030406> (дата обращения 30.04.2016г).

					11070006.11.03.02.103.ПЗВКР	Лист
						81
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		